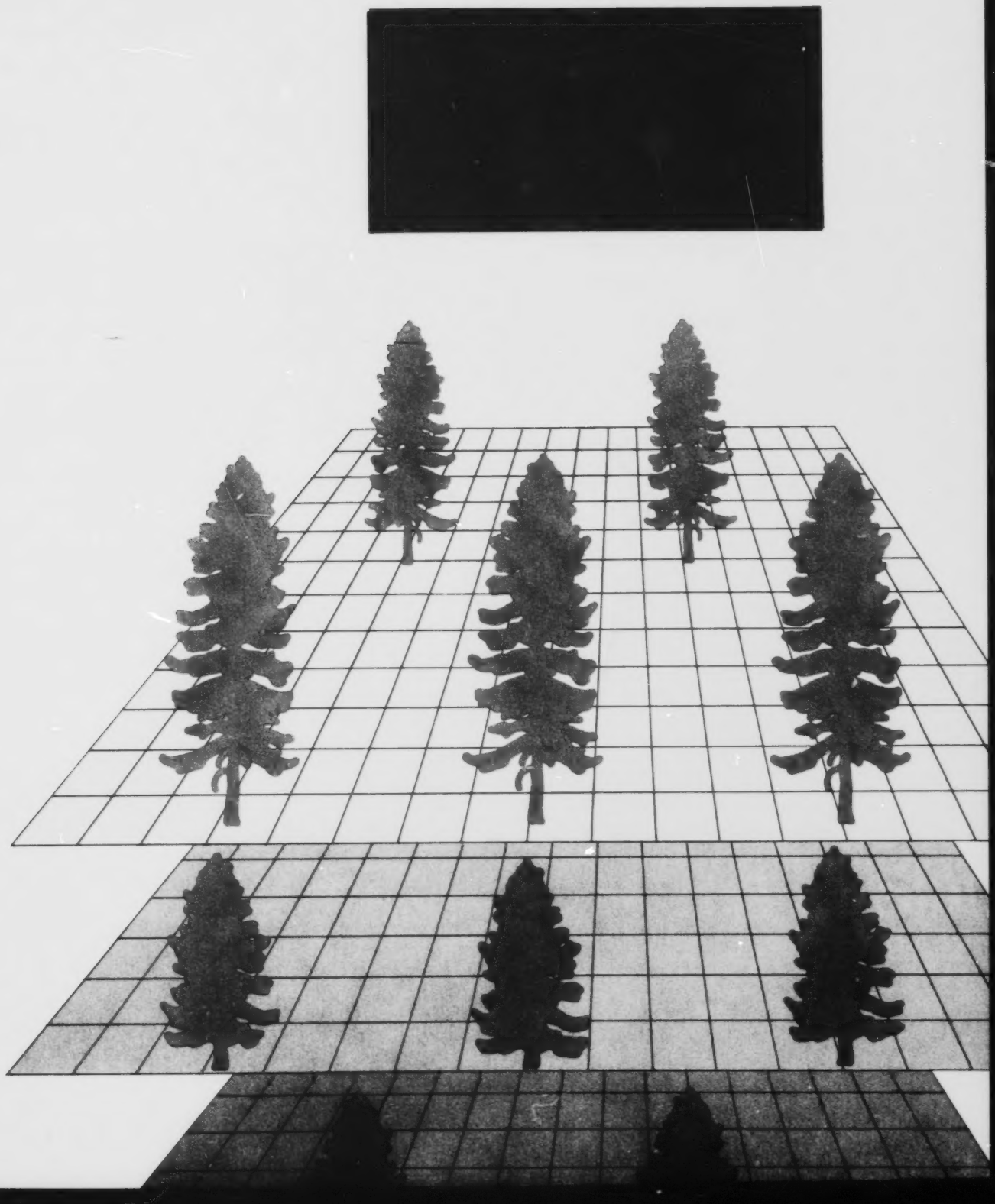
Forestry Canada Forêts Canada

Canada



Spruce Budworm Research in Forestry Canada:

Current Status and Proposed Future Directions

Report of the Forestry Canada Spruce Budworm Research Review Committee

D.A. MacLean, R.A. Fleming, V.G. Nealis, J. Régnière, and C.J. Sanders

November 1987

90-00963/

Contents

Executive Summary 5

Chapter 1. Introduction 7

Chapter 2. Previous Reviews and Coordination of Spruce Budworm Research 8

The 1979 Task Force for the Review of Forestry Canada Spruce Budworm Research .. 8
CANUSA Program 9
Lessons from the Past 9

Chapter 3. Research on Spruce Budworm Population Biology 11

Introduction 11
Background — Theories of Spruce Budworm Population Dynamics 12
Current Status of Budworm Population Biology Research 12
Population Monitoring 12
Population Dynamics (Survivorship) Studies 15
Spruce Budworm Biology 18
Biology of Associated Organisms 18
Discussion of Issues and Concerns 19
Population Monitoring 19
Spruce Budworm Ecology Group 20
Population Dynamics Studies 20
Biology of Spruce Budworm and Associated Organisms 21

Chapter 4. Research on Spruce Budworm Impact on the Forest 22

Introduction 22
Current Status of Budworm Impact Research 22
Impact on Forest Growth and Yield 22
Impact on Regeneration and Succession 24
Studies of Deterioration, Secondary Insects, and Disease 25
Discussion of Issues and Concerns 25
Importance of Impact Research 25
Coordination of Forestry Canada Impact Research 25
Establishment of a Forestry Canada Impact Plot Network 26
Future Directions of Impact Research 26
Resources for Completion of Newfoundland Forestry Centre Impact Studies 27
Impact on Regeneration and Succession 27

Chapter 5. Research on Spruce Budworm Control 28

Introduction 28
Spruce Budworm Chemical Control Research 28
Background 28
Current Status of Chemical Control Research 29
Spruce Budworm Biochemical Control Research 29
Background 29
Current Status of Biochemical Control Research 29
Spruce Budworm Biological Control Research 31
Background 31
Current Status of Biological Control Research 32
Insecticide Application Technology Research 35
Background 35
Current Status of Application Technology Research 35
Spruce Budworm Related Environmental Impact Research 37
Background 37
Current Status of Environmental Impact Research 38
Discussion of Issues and Concerns 38
Use of Chemicals for Forest Protection 38
Biochemical Control Research 40
Biological Control Research 41
Environmental Impact Research 41

Chapter 6. Future Pest Management in Budworm-Prone Forests: Development of an Integrated Forestry Canada Research Program 43
How Can Forestry Canada Improve Technology Transfer? 43
Production of User-Oriented Results 44
Concepts of a Decision-Support System for Budworm Management 44
Concepts of an Experimental Pest Management Approach 46
Where Do We Go from Here? Implementation of an Integrated Budworm Research Program 47

Chapter 7. General Issues and Recommendations 48

General Issues and Concerns 48
Staffing and Redirection of Research 48
Working Groups and Improvement of Communication Among Scientists 48
Value of PDFs and University Collaboration 50
List of Recommendations 50
A Final Note 51

Appendix A. Research Goals Identified by 1979 Task Force for Review of Forestry Canada Spruce Budworm Research 52

Executive Summary

The Spruce Budworm Research Review Committee met with more than 60 researchers and managers from both within and outside the Canadian Forestry Service (CFS), hereafter Forestry Canada, to review current research and to discuss future research directions. From these discussions, the committee identified issues of concern and made suggestions and recommendations for management actions.

Research was reviewed under three main headings: budworm biology, budworm impact on the forest, and budworm control. Budworm biology was divided into two subsections, monitoring and population biology (which included population dynamics and the biology of budworm and associated organisms). Control was divided into chemical, biochemical, and biological. Current-year resources allocated to each of these areas are as follows:

Subject	Number of studies	Person-years		O&M$
		Permanent	Casual	
Impact on the forest	11	11.0	3.5	66 000
Budworm control				
Chemical	2	3.0	1.0	36 000
Biochemical	3	1.2	0.6	8 000
Biological	13	9.5	3.2	49 000
Insecticide application	15	7.7	3.2	54 000
Environmental impact	10	9.6	0.9	32 000
Total budworm control	43	31.0	8.9	179 000
Population monitoring	10	3.0	1.3	37 000
Population biology	22	18.8	6.3	113 000
Total	**86**	**63.8**	**20.0**	**395 000**

An understanding of spruce budworm biology and population dynamics is essential for predicting outbreaks, for defining stand susceptibility and for the successful control of budworm populations. Current research is vigorous and well coordinated. The study of low density populations will, however, present special problems, and it is important that resources be maintained at least at current levels as population densities decline. Several research needs were identified in population monitoring, and it is recommended that the Forest Insect and Disease Survey's (FIDS) role in such research be expanded.

Research on spruce budworm impact is centered in the Maritimes where a "user need" is clear. The committee recommends that an impact working group be formed to develop and integrate impact research throughout Forestry Canada.

The committee considers the distinction between chemical and biological control to be largely artificial, but has maintained the distinction because of the common acceptance of the terms. Increased emphasis is being placed on biological control, largely *Bacillus thuringiensis* (*B.t.*) at this time, and the research effort reflects this. There is, however, a need to develop other nonchemical control techniques, including improving the efficacy of present parasites and introducing new parasites, and to consider their roles in an integrated pest management system. To achieve this, the committee recommends that Forestry Canada engage in experimental pest management trials, which would both test and demonstrate the potential of alternative control strategies. Computer modeling

should be used to forecast how the pest–forest system might respond to alternative management regimes, and thus aid in formulating the experimental management trials.

An important weakness in the current research program was identified in the transfer of research results into operational forest management programs. To facilitate the transfer, the committee recommends that Forestry Canada develop decision-support systems for managing the spruce budworm. These systems should be tied in closely with provincial forest management techniques, and should take into account new technology, such as remote sensing and computer-based Geographic Information Systems, and the results of experimental management trials. This approach necessitates the formation of interdisciplinary, goal-oriented working groups, which will also integrate and coordinate Forestry Canada spruce budworm research towards a common goal.

Chapter 1. Introduction

In November 1986, Forestry Canada's Committee of Research Establishments (CORE) requested that a review of spruce budworm research in Forestry Canada be conducted. A review committee was selected, consisting of D.A. MacLean (Forestry Canada — Maritimes) as chairperson, J. Régnière (Laurentian Forestry Centre), V.G. Nealis (Great Lakes Forestry Centre), R.A. Fleming (Forest Pest Management Institute), and C.J. Sanders (acting Forestry Canada Headquarters advisor).

The review had two purposes: first, to assess the current status of research on budworm population dynamics, to ensure opportunities were not being missed in 1987 to discover factors affecting population changes, and second, to conduct an in-depth review of the Forestry Canada spruce budworm research program to identify and coordinate future research needs.

The terms of reference for the review committee were:

1) The review included only research relevant to the (eastern) spruce budworm, *Choristoneura fumiferana* (Clem.).

2) The review was essentially "in house." The committee did not meet with "users," but took into account user needs as identified in the Report of the 1979 Task Force for the Review of the Forestry Canada Research Program on the Eastern Spruce Budworm.

3) The review culminated in two documents: (i) A summary of Forestry Canada spruce budworm population dynamics research — This report, entitled **"Spruce Budworm Population Dynamics Research in CFS: Current Status, Goals and Opportunities,"** was submitted to CORE in March 1987. It synthesized previous work on budworm population dynamics, progress, current plans, goals for 1987–88, resource requirements, and opportunities. (ii) An in-depth review of Forestry Canada spruce budworm research — This is the present report, which will summarize results of previous work (including the 1979 Forestry Canada budworm task force review and the CANUSA program), review the current status of Forestry Canada budworm research, and propose future research needs and problems.

In conducting the review, the committee met with more than 60 scientists and research managers, inside and outside Forestry Canada. We met with scientists at five Forestry Canada establishments: Great Lakes Forestry Centre (GLFC), Forest Pest Management Institute (FPMI), Laurentian Forestry Centre (LFC), Forestry Canada — Maritimes (FC–M), and Newfoundland Forestry Centre (NeFC). We also met with representatives of agencies outside Forestry Canada that are involved in budworm research: N.B. Spray Efficacy Research Group, N.B. Research and Productivity Council, and USDA Forest Service in Orono, ME. Although the committee did not travel to the Northern Forestry Centre (NoFC), we did receive detailed information on current and proposed future budworm research directions and priorities. Scientists and managers at the various establishments were very cooperative in helping us complete our task.

This report consists of seven chapters. Following this introduction, Chapter 2 describes the two previous attempts to organize and coordinate research on spruce budworm in the last 10 years, and what has been learned from those efforts. Chapters 3, 4, and 5 present our findings regarding budworm research in Forestry Canada in three broad discipline areas: population biology (including monitoring), impact on the forest, and budworm control. Each of these chapters includes a description of the current status of Forestry Canada budworm research in that discipline, discusses issues and concerns, and proposes future research directions and solutions to perceived problems. Chapter 6 proposes and discusses an integrated approach to pest management in budworm-prone forests, and the role of Forestry Canada in developing such an approach. Chapter 7 presents some general issues and concerns that surfaced repeatedly in discussions with scientists, and also summarizes our recommendations regarding budworm research in Forestry Canada.

There was a strong consensus among scientists at different establishments regarding the future directions for research, and this report is largely a distillation of information and opinion presented by those researchers.

Chapter 2. Previous Reviews and Coordination of Spruce Budworm Research

Two previous attempts have been made to organize and coordinate research on spruce budworm in the past 10 years, the Report of the 1979 Task Force for the Review of the Forestry Canada Research Program on the Eastern Spruce Budworm and the Canada–United States Spruce Budworms Program (CANUSA). Before beginning another review it is perhaps appropriate to ask how successful these two attempts were and what can be learned from them.

The 1979 Task Force for the Review of Forestry Canada Spruce Budworm Research

When the Joint Planning Unit of the Canada–United States Spruce Budworms Program met in March 1978, the U.S. members asked Canadian participants to suggest priorities for new research for the U.S. program. While some topics of immediate priority were suggested, it was apparent to the Canadian members that the research program in Canada needed to be reviewed, both in relation to the implications of the CANUSA Program and to the changing requirements of the major clients of spruce budworm research in Canada. Accordingly, a task force was appointed to undertake a review of the program and to determine future research needs in Eastern Canada. Initially the task force was led by G.L. Baskerville but subsequently C.J. Sanders was appointed chairman.

The task force tried to focus research to give forest managers the information necessary to cope with the spruce budworm. First, the task force discussed the spruce budworm problem with forest managers in each of the six eastern provinces to identify problems. Second, the task force formulated 10 research goals, which, if met, might allow forest managers to deal better with the problem. Those goals are listed in Appendix A of this report. Third, the goals were discussed with Forestry Canada research scientists to identify research needed to meet the goals. Finally, the task force made recommendations about Forestry Canada policy, hiring, and the direction of research, and proposed an organizational framework designed to steer research towards attaining those goals.

The Forestry Canada Board of Directors endorsed the recommendations of the task force on May 30, 1979, except for the recommendations concerning pesticide regulation and environmental impact. The Board also appointed an implementation team comprised principally of research managers to develop an appropriate plan. The task force proposed that scientists should be organized into goal-oriented working groups to identify research needed to meet the 10 task force goals, and scientists would then largely direct their own research to provide the needed information. However, that did not happen. The first step taken by the implementation team was to reorganize the task force goals into "activities," which were oriented along the line of traditional disciplines. A leader was appointed for each activity, and all studies currently under way were then assigned to an activity. The leaders were required to review the research in their activity, to respond to task force recommendations, and to prepare annual reports summarizing progress. This process continued with various levels of vigor from 1978 to 1984, the CANUSA period.

The organization of research into discipline-oriented activities, rather than the goal-oriented working groups, resulted in losing the focus on the goals that the task force had advocated. Hence, assessing progress towards achieving the task force goals is difficult. In some areas, the task force recommendations conformed closely to studies already under way and progress in these areas has been good. This includes the assessment of the fire hazard of budworm-damaged stands, protocols for salvaging damaged trees, the impact of budworm on growth and yield, the development of *Bacillus thuringiensis (B.t.)* as a viable alternative control agent to commercial insecticides, and improved targeting of aerial sprays through research on spray technology.

In other areas recommendations were implemented, but less successfully. The study of management techniques did not integrate with any existing Forestry Canada projects, and hence some reorganization was necessary. The emergence of modeling as a research tool prompted the task force to recommend the establishment of a "core" modeling group. The implementation team decided

Forestry Canada — Maritimes was the appropriate location, and a leader for this core modeling group was hired. Subsequent events suggest that this was ill-advised. Modeling is not an end in itself, but should develop as and when appropriate. Both the expertise and the necessary computer facilities are now available in all Forestry Canada establishments, and the concept of a "centre of excellence" for modeling is not appropriate.

CANUSA Program

The Canada/United States Spruce Budworms Program was initiated in 1977 by the Canada Department of the Environment and the United States Department of Agriculture (USDA). A Memorandum of Understanding signed by the two parties outlined the primary objective of the program: "to design and evaluate management strategies for control of the spruce budworms and/or management of budworm-susceptible forest that will assist forest managers to attain management objectives in an economically and environmentally acceptable manner."

This objective suggests a philosophy similar to that of the task force. However, the structure of CANUSA was organized very differently and was based on the technique known as Critical Path Analysis. In this process, "targets" and "subtargets" were identified and then information needs and time frames to attain the targets were determined. The six targets were essentially discipline oriented and were similar to those identified for the previous USDA accelerated forest insect research and development programs (gypsy moth, Douglas-fir tussock moth, and southern pine beetle). These included insect population and damage evaluation, stand dynamics, socioeconomic impacts, treatment strategies, environmental impacts, and management systems.

The main forum for interaction between Canadian and American researchers was through the working groups for each target. Unlike the task force goals, targets were broad subject areas and were not focused on specific management needs. Furthermore, the accelerated funding provided by the U.S. was allocated according to priorities set by the CANUSA–U.S. managers, but no new money was allocated to the program on the Canadian side. There was therefore no attempt to direct the resources of the CANUSA program in the directions advocated by the Forestry Canada task force report.

One of the main benefits stemming from CANUSA, as perceived by Canadians, was the increased opportunity for contact between Canadian and American researchers, and the technology transfer and research symposia that were sponsored by CANUSA towards the end of the program. The program also vigorously supported the development of tools that were close to the operational stage (such as sex pheromone traps and the coordinated *B.t.* trials) and the development and standardization of registration procedures for insecticides.

Lessons from the Past

CANUSA would have had more impact on the direction of Canadian research if there had been more Canadian input in its planning, and more resources to develop new Canadian initiatives. Instead, the Canadian organizers were left trying to support both CANUSA and the implementation of the task force, which resulted in confusion among both management and research staff. In the future, Forestry Canada should not have more than one organizational structure to follow at one time.

We believe that the approach followed by the task force was appropriate for Canadian needs and that the goals are generally still valid. Although the emphasis may have changed since then, we do not believe that the changes are sufficient to warrant a review of the task force goals.

The implementation of the task force was less successful. Both the implementation plan and CANUSA fostered the gathering of new information. What were missing, however, and what the original task force had tried to set up, were mechanisms by which (1) the research efforts of individual scientists could be focused on management problems, (2) research studies could be efficiently coordinated and integrated between research establishments, and (3) all the accumulated information could be brought together in a form that could be used by forest managers. Meeting these needs remains a major challenge.

The task force proposed the formation of goal-oriented working groups, which cut across the traditional discipline orientation of research. This approach is contrary to the conventional affiliations among scientists, who tend to be discipline-oriented. Scientists in Forestry Canada need ways to effectively coordinate research both within disciplines (between establishments) and between disciplines (for example, impact, population biology, control). There is evidence that working groups can be a successful way of coordinating and directing research, and we therefore favor their formation. The issue is whether the membership of working groups should emphasize disciplines or goals; this will be discussed later in this report. We believe that one working group will not efficiently serve both purposes, and that both types are necessary in Forestry Canada.

Chapter 3. Research on Spruce Budworm Population Biology

Introduction

The object of population biology is to determine the patterns and underlying causes of spatial and temporal changes in the abundance and quality of spruce budworm populations. At the heart of the scientific concern about spruce budworm population biology lies the quest for the causes of the rise and fall of this insect's spectacular outbreaks. However, several other, more specific questions are also of interest, including population development, damage-density relationships, movements, and stand-related nuances in behavior.

The understanding gained by research in population biology can be applied to spruce budworm management at three different levels:

1) The ability to predict (forecast) population trends and changes in distribution over the short, medium, or long term can help in developing protection, harvesting, and reforestation schedules aimed at minimizing the economic impact of spruce budworm outbreaks.

2) The execution of control interventions against damaging or potentially damaging population levels can be improved from the point of view of maximizing foliage protection, population reduction, or conservation of important natural enemies.

3) The prevention of outbreaks can hopefully be achieved once the underlying causes of these outbreaks are well understood. At this level, reforestation and stand management practices are likely to play an important role. Classical biological control, aimed at reducing or damping population fluctuations, is an ideal approach to outbreak prevention, either through facilitation of native parasites or predators, inundative releases, or introduction of exotic enemies.

Progress in all three levels might help reduce current dependence on chemical and biological insecticides. The use of insecticides to protect foliage is costly in the long run because of the duration and extent of outbreaks, and is a sensitive issue with environmental groups (it is not even permitted in some jurisdictions). Last-minute salvage harvesting results in a loss of control over the planned sustained-yield harvest pattern, unless well-founded preventive cutting can be implemented within the management decision-making process.

We divided the field of population biology into four distinct topics: population monitoring, population dynamics, biology of spruce budworm, and biology of associated organisms. Population dynamics research and the study of the biology of spruce budworm and of associated organisms are so intricately linked that one must be done in conjunction with the other. However, within the context of Forestry Canada efforts, there is a convenient division of research activities along these lines.

Population monitoring involves the survey of population fluctuations, including the detection of outbreaks, surveys to delineate outbreak boundaries, and the assessment of population levels. Determining the efficacy of control operations is a specific class of monitoring activities, which involves estimating population densities before and after treatment and damage (defoliation) levels. Depending on the region, budworm population monitoring involves Forestry Canada's Forest Insect and Disease Survey (FIDS), provincial personnel, and research entomologists. Information generated by such survey activities is essential to the study of population biology, because it provides basic long-term data on population trends and distribution, and the damage resulting from severe infestations. These data are generally gathered for use in operational planning of protection and harvesting programs and therefore the political will to pursue survey activities during periods of reduced spruce budworm density may be low. Once early warning systems can be implemented, sustained survey operations may be more tenable.

Population dynamics research in Forestry Canada is aimed at (1) measuring survival, development, migration, and reproduction rates in natural budworm populations, and (2) documenting the conditions that determine these rates, in terms of environmental and stand conditions, natural enemies, and behavior. The basic objectives are to quantify demographic processes associated with changes in population density during an outbreak and to obtain quantitative estimates of the importance of various causative agents. Because of the present status of populations

over much of northeastern North America, current studies are being conducted on peak or declining population levels.

Studies of the biology of spruce budworm and associated organisms are intended to complement population dynamics research, to explain patterns observed in the population studies, or to elucidate poorly understood processes, the impact of natural enemies, and other interactions. Many studies are initiated in direct response to needs identified by population dynamics research.

Background — Theories of Spruce Budworm Population Dynamics

Spruce budworm population dynamics is a controversial subject. Until fairly recently, most specialists agreed that the best available explanation for this insect's epidemic behavior resulted from the extensive work carried out during the Green River Project in New Brunswick in the 1950s, as well as ideas of earlier workers and concepts introduced during the simulation modeling efforts of the 1970s. According to the theory, populations of the insect are normally kept in check at low, endemic levels by the action of regulating agents. Because of a limited capacity of the regulating agents to respond to increasing budworm larval populations, there comes a point where the population reaches densities too high for the regulating mechanism to control. The budworm population then increases rapidly. This process could be hastened by favorable weather conditions, or by the invasion of moths from outside. The increasing budworm populations would eventually be limited by food availability. The collapse of an outbreak would only be a question of time, as a result of widespread tree mortality caused by several years of severe defoliation.

Since the early 1980s, the study of spruce budworm population dynamics has gained new momentum, a result of the reanalysis of the Green River Project life tables and FIDS survey data by T. Royama (Forestry Canada — Maritimes). The reanalysis revealed that budworm outbreaks oscillate during a period of 30–40 years. These population changes are synchronized over wide geographical areas, although regional differences in amplitude and phase can exist. These population oscillations are composed of two major elements. First, there is a gradual, consistent change in the survival rate of the feeding larval stages, particularly during the later instars, from high in the buildup phase, to low during the decline. Thus, an epidemic is the result of local, gradual variations in the survival rate of larvae. This is the reason for the interest in spruce budworm natural enemies evident in the design of the Forestry Canada research program. It is not clear now what part the known natural enemies of spruce budworm play, and yet unknown mortality factors may be involved.

The second major element of population changes is random fluctuations of apparent rate of fecundity, or the number of eggs laid per female moth. This factor is the major cause of the pronounced deviations from the basic buildup and decline population cycle. Apparent fecundity varies with the fecundity of females, mating and oviposition success, and most importantly, with moth migration. Survival rates and apparent fecundity also vary systematically between sites.

Current Status of Budworm Population Biology Research

Population Monitoring

Within Forestry Canada, FIDS has a primary role in monitoring spruce budworm populations. Monitoring activities are carried out for two purposes: first, and of most immediate importance during outbreak periods, is the operational planning of forest protection activities such as spraying and preventative or salvage harvesting; second, and of most interest in the study of spruce budworm population biology, is the maintenance of historical records on the abundance, damage, and impact of spruce budworm populations during and between outbreaks. These data constitute a broad source of information on the basic behavior of spruce budworm populations during long periods and over large areas. Survey data also form the basis on which to judge the validity of hypotheses and theories of population dynamics. Without such data, it would be exceedingly difficult to develop and evaluate broad concepts of how populations behave.

Likely, knowledge gained from current research on spruce budworm population dynamics will lead to the development of population forecasting systems. These systems will require information on past population levels that increases be detected at an early stage. Indeed, any concept of early intervention implies early detection of rising populations. Therefore, such data must be gathered in a consistent manner, particularly during the period of low densities. Pheromone traps may be an appropriate tool for gathering such information at limited cost.

The duality of purposes for population monitoring implies dual methodology. Surveys aimed at determining areas in need of protection or determining depletions of the forest resource caused by insects will be carried out with designs that are very different from surveys aimed at establishing basic population trends. When population levels are low or increasing, sampling plots used for risk assessment might be selected inside or at the presumed "edge" of an outbreak, and might have to shift location from year to year. Plots selected for long-term monitoring, however, should be selected on an ecogeographical basis and should be permanent. The accuracy requirements for population or damage estimates similarly vary.

Currently, operational survey operations are carried out by FIDS in Ontario, by provincial government agencies alone in Quebec, and by provincial government personnel in collaboration with FIDS personnel in the Maritimes and Newfoundland. The relative contribution of various agencies to this monitoring activity has changed with time, according to the degree of provincial involvement, and to accommodate varying regional requirements in accuracy, spatial resolution, and degree of computerization.

Problems encountered in surveying and monitoring budworm, populations are discussed and, where possible, resolved by CRISAT (the Committee for the Review and Improvement of Sampling and Assessment Techniques of the Eastern Spruce Budworm Council). This committee provides a useful forum for survey and research personnel to review problems with the users, and continued involvement of users is encouraged.

The Forestry Canada studies involved in spruce budworm population monitoring are listed in Table 1. The activities have been divided into three broad methodological categories: population sampling, pheromone trapping, and remote sensing.

Population Sampling — Currently, there are no studies within Forestry Canada in which research in population sampling is a specific objective. However, several studies on population dynamics are involved in refining current methodology. These include, for example, compensating for shifts in insect distribution during the life cycle (Eveleigh, Fleming, Lysyk, Régnière), low-density estimation methods (Lysyk), or improving sampling techniques for white spruce (Lysyk, Régnière). Operational monitoring is normally based on egg and overwintering larval population estimates, but relationships between these estimates and consequent defoliation vary with the population cycle.

Pheromone Trapping — Pheromone traps show great promise as a monitoring tool, particularly for low-density spruce budworm populations. Development of pheromone traps is directed by an informal group of Canadian and American researchers. Two studies are directly aimed at this research topic (Jobin, Sanders). Additional studies are involved in deploying pheromone traps in permanent sampling plots in Ontario (Meating), the Maritimes (Magasi), Newfoundland (Raske), and Quebec (Jobin). These studies are aimed at improving the trapping system, quality control, and in establishing trap–catch/larval density relationships. The research effort in this area is expected to decrease as the tool becomes operational and more extensively used by FIDS and provincial agencies. During this transition, the question of who provides the lures ($6000 annually) will need to be resolved.

Table 1. Forestry Canada studies involved in spruce budworm population monitoring research

Study	Leader	Subject area	1987–88 resources[a] Perm. PY	Casual[b] PY	O&M$
		Remote Sensing			
PI-16[c]	Leckie	Technique development	0.8	0.0	1 500
MC-23-188	Ostaff	Assessment	0.0	0.0	0
MC-23-129	Kettela	Assessment	0.1	0.0	7 500
LFC-4204	Beaubien	Assessment (SPOT)	0.2	0.5	3 000
CCRS[d]	Ahern	Technique development	0.2	0.3	10 000
		Pheromone Trapping			
MC-23-75	Magasi	Coordination (Maritimes)	0.1	0.0	1 000
NE-2708	Raske	Coordination (Newfoundland)	0.1	0.0	1 000
LFC-2301	Jobin	Trap design	1.0	0.0	7 500
GLC-32-013	Sanders	Coordination and service	0.4	0.5	5 000
GLC-09 042	Meating	Trap deployment in Ontario	0.1	0.0	1 000

[a]Resources are prorated based on the percentage of the work on spruce budworm.
[b]Casual PYs include student allocation converted to an annual basis.
[c]Throughout the tables in this report, PI is Petawawa National Forestry Institute, MC is Forestry Canada – Maritimes, LFC is Laurentian Forestry Centre, NE is Newfoundland Forestry Centre, and GLC is Great Lakes Forestry Centre.
[d]Canada Centre for Remote Sensing.

Remote Sensing — The detection of outbreaks and mapping of defoliation and tree mortality is still carried out by human observers aboard aircraft. The search for more objective, cheaper, automated methods for damage assessment has led to consideration of electronic image processing, particularly because this technology is open to computer treatment of digitized images and amenable to usage in conjunction with Geographic Information System (GIS) technology. The development and application of remote sensing technology is being conducted at PNFI and at the Canada Centre for Remote Sensing (CCRS), part of the Department of Energy, Mines and Resources. Support for testing has been provided by most Forestry Canada regional establishments. The research is coordinated by the Forestry Canada Remote Sensing Working Group, which meets annually to review progress and to make recommendations.

The application of remote sensing to the detection and assessment of spruce budworm damage is only one component of the overall remote sensing program and it is therefore difficult to identify accurately the resources allocated specifically to this insect. Currently, remote sensing research favors electronic sensors that are carried by high-altitude aircraft or satellites and produce digital information. The capacity to use automated interpretation techniques is a key advantage of using digital remote sensing. With the use of GIS technology for forest inventory and forest management planning, a technological infrastructure is developing within Canada's forestry community for the application of digital remote sensing techniques. At present, satellite imagery lacks sufficient resolution for adequate damage assessment and is unreliable because flight paths are fixed and coverage is subject to interference by clouds. New satellites, such as the SPOT satellite and the Landsat Thematic Mapper (TM) have improved capability, and this technology is evolving rapidly. Aircraft are more reliable because their coverage can be directed according to current conditions, and they can provide data with higher resolution. However, their swath width is narrower and the cost is higher.

Development of techniques for monitoring spruce budworm damage is currently a largely informal cooperative effort among CCRS, PNFI, LFC, and Forestry Canada — Maritimes. LFC (Beaubien) is concentrating on use of satellite data, especially Landsat TM and SPOT. Work at PNFI (Leckie) has determined the spectral characteristics of spruce budworm damage using airborne MSS (Multi-Spectral Scanner) data, and assessed the classification capabilities and limitations. CCRS (Ahern) is concentrating on the potential of visual interpretation of low resolution MEIS (Multi-Spectral Electro-Optical Scanner) with the cooperation of Forestry Canada — Maritimes (Kettela) for the selection of suitable areas for ground verification. PNFI is now investigating the MEIS for spruce budworm damage assessment on a single-tree basis for sample plot or site-specific applications.

The available electronic scanners are not designed specifically for forestry applications. To resolve this major problem, a proposal has been submitted to Forestry Canada management, via the Remote Sensing Working Group, for the development of a MEIS custom-designed scanner, including specific capacities for damage assessment. The cost of development, most of it under contract, would be about $5 million over 3 years. How much of this should be allocated to spruce budworm research is difficult to assess. To assist in the selection of filters for use in the new MEIS to detect damage, PNFI (Leckie), Forestry Canada — Maritimes (Ostaff), and CCRS have conducted a study of spectral reflectance of spruce budworm damage in the Maritimes. GLFC is not currently involved in remote sensing research, ut a proposal has been submitted by the Remote Sensing Working Group for a study to monitor by remote sensing the development of an outbreak in Ontario, the only province in which populations are currently expanding.

Population Dynamics (Survivorship) Studies

Between 1981 and 1982, a group of Forestry Canada scientists form Forestry Canada — Maritimes, GLFC, and FPMI formed what is referred to as the Spruce Budworm Ecology Group. This group, now composed of about 15 Forestry Canada and outside researchers, established a collaborative and integrated research program aimed at elucidating the basic mechanisms underlying the dynamics of spruce budworm populations. The group meets regularly to discuss research priorities, strategies,

protocols, and results. The Forestry Canada studies involved in spruce budworm population dynamics research and related studies are listed in Table 2.

Currently, studies are conducted with basically similar designs in New Brunswick, Quebec, and Ontario. A less intensive project is conducted in Newfoundland. Studies consist of sampling spruce budworm populations at least twice weekly, accompanied by rearing collected insects and diagnosing causes of mortality. Additional information is collected on numbers of dead insects on and off the foliage, numbers of free immature forms of spruce budworm parasites on the foliage, moth activity, and oviposition. Weather conditions are monitored in all sampling locations. The basic design involves a much higher intensity of sampling and rearing than that used during the Green River Project. The current protocol provides much more accurate, and in many cases more valid, information on major mortality factors operating on the insect populations.

Because of the heavy work load required and in view of limited Forestry Canada resources, studies are confined to one or two plots in each region. This is one major reason for the replication across regional laboratories. Such replication increases the chances of observing crucial events, and enables some check on the generality of findings. However, the small number of plots is insufficient to detect regional and site-specific differences in population biology. Fortunately, the Quebec Ministry of Energy and Resources (hereafter MER) in 1985 embarked on a collaborative venture with LFC, to sample and rear insects (in a design similar to the Forestry Canada sampling) from 15 plots across the province, thus providing much additional information on geographical variation in the natural enemy complex and on site-specific population behavior.

New Brunswick — The New Brunswick study contributes at two levels: first, at the theoretical level on the design of the survivorship studies and on analytical methods to be used in interpreting the data (Royama); and second, Forestry Canada — Maritimes conducts the most detailed survivorship study (Eveleigh, Royama). Sampling was carried out daily (excluding weekends) in one plot between 1982 and 1986, and in both that and a new plot every 2 days since 1986. The older N.B. plot may have to be dropped because of extensive tree mortality. Strongman, a postdoctoral fellow (PDF) in mycology (Jan. 1986 to March 1988) is involved in work on diagnostics and identification of fungal pathogens.

Ontario — Sampling every 2–3 days in two widely separated plots was started in 1982 and 1983 and continued until the present in one plot. In the second plot, the spruce budworm population declined in 1985 below levels at which sampling was practicable. The study officers (Lysyk, Nealis) decided to concentrate sampling effort in the high-density plot. This plot is located at Black Sturgeon Lake, 500 km from Sault Ste. Marie, and work is carried out from a field station. This remoteness results in particular logistical problems and additional costs. Some work continues in the low-density plot to assess the importance of *Meteorus trachynotus* in that population (Nealis). Participation of FPMI (Tyrrell) in the pathology aspects of the work has declined considerably. Sanders has been studying moth flight activity at one location for several years.

Quebec — Two Forestry Canada sampling plots were established in Quebec in 1985 (Perry, Régnière). Populations dropped steadily until one of the plots was abandoned in 1987 to concentrate efforts in one location. Population levels were too low for standard sampling methodology in 1987, and new techniques were developed. The LFC survivorship study includes direct estimation of the impact of bird predation by the exclusion technique (Régnière).

In 1985, the Quebec MER established a network of 15 sampling plots in a collaborative effort with LFC. In these plots, sampling is carried out using methods similar to the Forestry Canada studies. Insects (20 000–50 000 per season) are reared and diagnosed at LFC (Perry). The data from this plot network compensate for the limited number of plots observed by Forestry Canada and provide a very large survey and source of naturally occurring parasites and pathogens of the spruce budworm. Biological material for additional research is also provided through special sampling efforts of MER personnel.

Table 2. Forestry Canada studies on spruce budworm population dynamics and related topics

Study	Leader	Subject area	1987–88 resources[a] Perm. PYs	Casual[b] PYs	O&M$
		Survivorship Studies			
GLC-32-122	Lysyk	Ontario survivorship study	1.0	0.5	10 000
FP-11-2[c]	Tyrrell	Ontario pathogens	0.15	0.0	1 500
LFC-2101	Régnière	Quebec survivorship study	2.0	0.5[d]	15 000
LFC-2105	Perry	Quebec pathogens and MER survivorship study	1.0	0.2[d]	10 000
LFC-2104	Lethiecq	Site descriptions	0.5	0.0	4 000
MC-04-200	Eveleigh	N.B. survivorship study	2.5	2.3	15 000
MC-04-217	Strongman	N.B. pathogens	0.0	0.3[e]	750
MC-04-157	Royama	Theoretical guidelines	1.0	0.0	1 500
NE-2709	Dobesberger	Nfld. survivorship study	0.5	0.05	5 000
NE-2710	Lim	Nfld. pathogens	0.7	0.0	5 000
		Biology of Spruce Budworm and Associated Organisms			
GLC-32-153	Nealis	Parasite biology	1.0	0.5	8 000
GLC-32-122	Lysyk	Budworm biology	1.0	0.3	5 000
GLC-32-123	Sanders	Moth dispersal, birds	0.2	0.0	2 000
GLC-32-016	Harvey	Budworm taxonomy	1.5	0.2	5 000
BRC[f]	Dang	Budworm taxonomy	0.2	0.2	4 000
LFC-2101	Régnière	Budworm physiology	0.5	0.0	0
LFC-2102	Régnière	Parasite biology	0.5	0.2[d]	5 000
LFC-2103	Delisle	Reproductive ecology	2.0	0.5	7 000
MC-04-200	Eveleigh	Parasite biology	0.25	0.0	0
MC-04-200	Eveleigh	Larval movement	0.25	0.0	0
MC-04-217	Strongman	Epiphytic fungi	0.0	0.4[e]	1 000
MC-04-166	Strunz	Plant defenses/fungal toxins	1.0	0.0	5 000
MC-04-180	Thomas	Nutritional ecology	1.0	0.2	3 000

[a]Resources are prorated based on the percentage of the work on spruce budworm.
[b]Casual PYs include student allocation converted to an annual basis.
[c]Throughout the tables in this report, FP is Forest Pest Management Institute.
[d]Resources provided by the Quebec Ministry of Energy and Resources are not included, but represent 0.5 PY for LFC-2101, 0.5 PY for LFC-2102, and 3.5 PYs for LFC-2105.
[e]This is a postdoctoral fellow (salary $25 000 from O&M) scheduled to terminate in 1988.
[f]Biosystematics Research Centre.

A study is in progress (Lethiecq) to describe the physical and vegetational environment of the Forestry Canada and MER plots, to document and correlate these characteristics with major differences in the natural enemy complex or other demographic processes. This study will include bioassays to determine foliage quality in each of these plots starting in 1988.

Newfoundland — The Newfoundland study (Dobesberger, Lim) has been conducted with varying intensity and methodology since 1983, in a fairly wide but changing array of plots. At present, only weekly sampling is done in one plot. This study provides some survey information on natural enemies of spruce budworm in Newfoundland, as well as documenting mortality rates in collapsing populations. However, such low sampling frequency is believed insufficient to provide adequate quantitative data.

Spruce Budworm Biology

Several aspects of spruce budworm biology are under investigation by Forestry Canada scientists.

Development Physiology — Diapause development and overwintering mortality (Régnière), and phenology simulation (Lysyk, Régnière) are being examined.

Taxonomy — In the 1970s, Harvey (GLFC) began looking for differences in isozyme composition among different budworm populations, as a possible method of identifying incipient outbreaks. This has not proved to be promising and his work has now evolved into a study of the identification and distribution of *Choristoneura* species in Western Canada. In this he is cooperating with Shepherd (PFC) and Dang, Biosystematics Research Centre (BRC). Dang is a Forestry Canada employee seconded to BRC. He is looking for morphological characters for separating the various species and currently is focusing on the zone of potential hybridization between western and eastern species in northern B.C. and the Yukon.

Behavior — This is the subject of much attention, in terms of larval movement as it applies to sampling, transport of disease, and mortality (Eveleigh, Perry, Régnière). A fairly large component of the program is centered on moth behavior, particularly chemical communication, mate selection, oviposition, and migration (Delisle, Eveleigh, Lysyk, Sanders). Some modeling of flight behavior is in progress (Régnière).

Host Plant Interactions — These are being considered from the nutritional and chemical defense points of view. Methodology developed by Thomas (Forestry Canada— Maritimes) is being applied to the study of feeding, growth, and damage (Régnière, continuing work initiated by PDF Prévost). Chemical defenses of host trees (feeding deterrents, toxins) are also being examined (Strunz, Thomas). Toxins produced by epiphytic fungi from host tree foliage are being studied (Strunz, Strongman) in the context of their possible contribution to budworm mortality. In Ontario, attention is focused on early spring mortality, as affected by synchrony with the host tree (Fleming, Lysyk).

Biology of Associated Organisms

The biology of many of the spruce budworm's natural enemies is poorly known. The seasonal life history, ecological requirements, physiological traits and behavior of several of these enemies is currently being examined. This knowledge is essential to the understanding of their relationship with spruce budworm, of their importance in natural regulation, and of their potential as control agents in an integrated pest management context.

Parasites — The life cycle, behavior, and population dynamics of budworm parasites in the family Tachinidae are being studied (Eveleigh). Early larval parasites, especially *Apanteles fumiferanae*, are the focus of studies of their biology, behavior, and interactions with other mortality factors (Eveleigh, Nealis). The only common hymenopteran parasite of large larvae, *Meteorus trachynotus*, is under intense study to determine its life cycle, alternative hosts, ecological requirements, and role in collapsing spruce budworm populations (Nealis, Régnière). The Quebec MER is providing summer as well as graduate students to support this work.

Predators — These have received less attention, partly because of the difficulty of measuring their impact on natural populations. Bird populations were censused for 20 years at one plot in Ontario (Sanders). A collaborative effort has been initiated by LFC (Régnière) and the Canadian Wildlife Service to observe shifts in bird foraging behavior in a collapsing spruce budworm population, while measuring the impact of birds on the insect. To date, little attention has been focused on invertebrates.

Pathogens — All sampling conducted within the framework of Forestry Canada or MER programs leads to the accumulation of a vast pool of pathogen strains for work in the area of biological control. The characterization of the biological traits of these isolates is used to study the ecological relationships between microbe populations and spruce budworm (Perry). Attention is focused on the ecology of budworm pathogens (Perry, Strongman), and two new species of the genus *Hirsutella* are being studied (Strongman). Much work is being done to determine ecological properties of strains of Entomophthorales pathogens of spruce budworm (Perry). Work on microsporidia (mainly *Nosema fumiferanae*) has been reduced as the researcher (Wilson, FPMI) has been assigned to other duties. One major project between Forestry Canada (Perry) and the Armand Frappier Institute in Montreal, with financing from MER and the University of Quebec, concerns the development of sensitive techniques using genetic markers for the detection and identification of spruce budworm pathogens, particularly viruses and protozoa, in the field.

Discussion of Issues and Concerns

Population Monitoring

Budworm Surveys — The roles of the various agencies involved in surveying spruce budworm populations in each province should be clarified, and the role of FIDS in budworm surveys should be clearly defined (**Recommendation 1**). We recognize that the FIDS role may vary regionally, but believe that FIDS should ensure temporal and methodological continuity of historical records of spruce budworm abundance in each region, particularly because provincial interest in the budworm tends to decline between outbreaks. Such information is required for clear understanding of the dynamics of budworm populations. It will also form the basis of forecasting systems implicitly required by concepts of early intervention. This would involve responsibility for the development of standardized sampling methods and maintenance of a computerized data base, including data on the reliability of information. FIDS involvement in methodological research is encouraged. This will serve to enhance communication with Forestry Canada researchers. Specific methodological problems that require research and development include the improvement of methods for forecasting defoliation from L2 counts and improvement of spruce sampling techniques for density and defoliation estimation.

Research on pheromone trap design should be reduced during the next few years as this monitoring tool enters the operational stage. Some continued low-level effort will be required to test new products as they become available.

Remote Sensing — Remote sensing potentially has a major role to play in spruce budworm damage assessment, but technical problems must first be overcome. Two principal organizations are involved, PNFI and CCRS. PNFI has tended to emphasize research on the basic principles, and CCRS on field application. Individual researchers from the Forestry Canada regional establishments are also

involved. There is a need for coordination of this work to develop and demonstrate the potential of remote sensing. In the past, different technologies were in competition and all have had shortcomings. The proposed custom-designed MEIS Scanner may solve many of these problems; the degree of Forestry Canada involvement in its production should be addressed by CORE (**Recommendation 2**). We recommend that support be given for the production and testing of filter sets for the MEIS Scanner to assess its potential.

A shortcoming of past remote sensing studies of damage assessment was the lack of entomological input. To resolve this, CORE allocated a person-year to PNFI 5 years ago to hire an entomologist familiar with FIDS requirements to work with Leckie. Initial attempts at staffing were unsuccessful. The position has now been filled, but not with an entomologist, and although this will increase PNFIs capabilities for work on damage assessment, the question remains whether more entomological input is required. This should be addressed by CORE, with input from the Remote Sensing Working Group (**Recommendation 2**).

Spruce Budworm Ecology Group

This group is a necessary medium for discussion and coordination of research activities. The component studies in the population biology program are so inextricably linked that constant and open discussion is essential. The nature of this group structure requires careful consideration. Group membership should remain voluntary, without management structure. Participation of appropriate Forestry Canada scientists should be encouraged, and perhaps some form of fostering (financing) by Forestry Canada HQ is necessary to ensure that O&M$ limitations don't prohibit participation. Non-Forestry Canada researchers are welcome, provided they are prepared to contribute and not merely observe.

Population Dynamics Studies

The survivorship studies are long-term research programs, involving large investments of time and effort by individual scientists and also a considerable portion of Forestry Canada resources. They are also group ventures, which do not readily lead to many publications with few authors. Management must recognize this situation and consider it in evaluation and promotion actions.

By design, the survivorship studies are conducted in very similar ways in each region, and resources required are largely balanced between the establishments. The GLFC/FPMI study includes 3.35 permanent and 1.5 casual PYs, and $26 500 O&M, with the participation of four research scientists (Lysyk, Nealis, Sanders, and Tyrrell). A large proportion of the O&M$ expenses in the Ontario study is costs associated with the remoteness of the plot. It is therefore reasonable that travel and per diem costs be relatively higher than in other centers. There is a shortage of summer manpower in this study, compared with the level of support available to the other studies (when considering the extra manpower provided to the LFC study by the MER). The LFC study represents 4.0 permanent and 0.9 casual PYs, and $34 000 O&M, with the participation of three study officers (Lethiecq, Perry, and Régnière). The additional cost to LFC incurred by collaboration with the MER in rearing and diagnosing insects from 15 plots, and the need to visit and describe these, is estimated at 1.0 permanent PY and $14 000 O&M. This cost is partly offset by the 0.5 casual PY provided by the MER directly to study LFC-2101. The Forestry Canada — Maritimes study requires 4.0 permanent and 3.0 casual PYs and $16 750 O&M, with the active participation of only one research scientist (Eveleigh) and a temporary PDF (Strongman). Some of the casual manpower listed for this study is used in conducting work which in other centers was classified under other headings. Recent trends in Forestry Canada summer employment programs have severely limited the availability of student help for these labor-intensive studies. This has been particularly worrisome at GLFC (the problem is partly solved at LFC by MER contributions).

A problem unique to the Forestry Canada — Maritimes survivorship study is that the work has largely been conducted by one researcher, which has resulted in high technical overtime expenses.

The lack of close collaborators has been temporarily relieved by recruiting D. Strongman, a PDF in insect pathology, but the PDF term expires in 1988. Additional human resources are needed in the Forestry Canada — Maritimes survivorship study, particularly in insect pathology. The backlog of diagnostics has been reduced through collaboration with Perry (LFC). If possible, other entomological researchers should be encouraged to collaborate on the survivorship studies.

Some new methodology required for the study of low-density populations is being explored at LFC (Régnière) and GLFC (Lysyk, Nealis). The population density in one of the N.B. plots declined sharply in 1987, and likely the application of low-density methodology will be required there in the near future. A similar situation is expected to occur eventually in all plots. The Spruce Budworm Ecology Group should be used as a forum to help in the development of these techniques.

Resources allocated to spruce budworm population dynamics research in Forestry Canada, particularly in the area of summer manpower, should be maintained during the low-density period (**Recommendation 3**). Understanding which factors keep budworm populations at low levels after they decline, and why population levels eventually increase, is essential to the development of new, environmentally acceptable budworm management techniques.

Biology of Spruce Budworm and Associated Organisms

Research efforts in this area are fairly evenly distributed among the three regional establishments with major involvement in population biology (Table 2).

The role of Forestry Canada research on taxonomy (including that of the positions at BRC) and its relation to other Forestry Canada research is not clear and requires review. Where there is a coordinated Forestry Canada program in place, such as with the spruce budworm, a mechanism is necessary to ensure that the relevant Forestry Canada staff at BRC become involved.

An effort should be made within the context of the Forestry Canada Spruce Budworm Ecology Group to identify areas in need of further attention and scientists to do the work.

Chapter 4. Research on Spruce Budworm Impact on the Forest

Introduction

Research on the impact of spruce budworm on the forest resource is primarily concerned with four areas: (1) quantifying the effects of defoliation on tree growth, mortality, and timber volume yield, for a variety of defoliation levels, host tree species, stand types, and stand ages; (2) describing relationships between stand vulnerability to budworm damage and tree, stand, and site characteristics; (3) determining long-term effects of budworm outbreaks on regeneration and succession; and (4) developing methods to forecast effects of budworm outbreaks on wood production, based on information from (1) to (3) above. Other areas of work include the study of effects of budworm defoliation on deterioration and secondary insects and disease, cone and seed production, wildlife, and aspects of tree physiology (for example, foliage chemistry, foliage production, etc.).

Many aspects of budworm impact research could be considered a subset of growth and yield research, since they involve the development of methods to determine deviations from expected growth or volume yield (the "growth loss") resulting from budworm defoliation. The overall objective of these studies is to develop defoliation-based stand growth models that can be used to adjust yield predictions by incorporating various defoliation scenarios. Forestry Canada should play a role in determining the basic loss (impact) estimators for different defoliation levels, tree species, stand types, etc. and also in developing methods to (1) forecast effects of budworm on wood supply and (2) determine depletions from the forest inventory caused by insects and disease.

Impact studies involve the selection of plots to represent particular stand and defoliation conditions, and, through repeated measurements over a period of several years, a description of the relation of observed tree growth, mortality, successional trends, etc. to measured defoliation. Research opportunities are therefore limited by the spruce budworm population densities and resulting defoliation that nature provides; population manipulation is practicable only in terms of establishing controls by spraying. If populations decline over large areas, field research opportunities will be limited to examining stand recovery or successional trends after defoliation.

Current Forestry Canada research studies that deal with spruce budworm impact on the forest are summarized in Table 3. A total of 11 studies are being conducted at NeFC, Forestry Canada — Maritimes, LFC, GLFC, FPMI, and NoFC. Studies will be reviewed in three groups according to subject area: (1) impact on forest growth and yield, (2) impact on regeneration and succession, and (3) studies of deterioration, secondary insects and diseases.

Current Status of Budworm Impact Research

Impact on Forest Growth and Yield

Six studies deal directly with quantifying effects of budworm defoliation on tree growth, mortality, and volume yield. Three of these are conducted at Forestry Canada — Maritimes, with one at each of NeFC, GLFC, and NoFC (Table 3). A seventh study, at FPMI, involves modeling budworm impact. LFC has no current work on impact, although Blais (retired) and Archambault (on educational leave) were formerly active in this area.

From 1976 to 1985, Forestry Canada — Maritimes impact research activities were concentrated on Cape Breton Island because of the opportunity to studying of a severe uncontrolled budworm outbreak. MacLean and Ostaff cooperated in studying impact in 20 mature fir stands, while Piene worked in 10 spaced and unspaced immature fir plots; Ostaff was also involved in studying three plots in N.B. and other forest insect damage appraisal efforts within the FIDS section. The research strategy and precision level of data collection differed substantially between the studies in mature and immature stands. The primary concern in the mature stands was mortality and reduction in current harvestable volume, whereas in the immature stands, it was growth loss and effects on future timber

Table 3. Summary of Forestry Canada research studies that deal with spruce budworm impact on the forest

Study	Leader	Subject area	1987–88 resources[a] Perm. PY	Casual[b] PY	O&M$
		Studies of Impact on Forest Growth and Yield			
MC-04-211	MacLean	Impact in mature spruce-fir stands in N.B. and N.S.	2.0	1.4	22 800
MC-04-212	Piene	Impact in young spruce-fir stands in N.B. and N.S.	2.0	0.0[c]	20 000
MC-23-188	Ostaff	Appraisal of forest insect damage	0.3	0.0	1 000
NE-2711	Raske & Dobesberger	Impact of major defoliators in Nfld.	1.8	0.7	5 000
GLC-09-044	Gross & Roden	Budworm impact plots in Ontario	0.3	0.1	5 000
NOR-11-05[d]	Moody	Damage appraisal of major forest pests	0.1	0.0	500
FP-23	Fleming	Modeling of budworm impact	0.2	0.0	300
		Studies of Impact on Regeneration and Succession			
MC-04-201	Huot	Impact on regeneration and succession in N.B. and N.S.	1.0	1.0	4 000
NE-2714	Meades	Impact on succession in Nfld.	0.0	0.0	0
		Deterioration, Secondary Insects and Disease			
NE-2706	Warren	Deterioration of insect-damaged trees	1.8	0.1	5 000
NE-2708	Bowers	Role of woodborers and bark beetles in deterioration	1.5	0.2	2 000

[a]Resources are prorated based on the percentage of the work on spruce budworm.
[b]Casual PYs include student allocation converted to an annual basis.
[c]Forestry Canada–Maritimes study MC-04-212 (Piene) had 0 casual PY allocation in 1987–88 because the researcher was completing data analysis and reporting results; casual PY allocation in 1986–87 was 3.2.
[d]Throughout the tables in this report, NOR is the Northern Forestry Centre.

yield and the projected time of harvest. The study in the immature stands involved the maintenance of control plots by ground-based insecticide spraying, study of tree recovery following various sequences of defoliation, and detailed determination of the foliar biomass and growth of trees. Budworm population levels declined in Cape Breton in the early 1980s, and data analysis in these studies is nearing completion; publication of results is expected in 1988–89. Fleming (FPMI) is collaborating with Piene on modeling budworm impact based on the detailed data available from the Cape Breton growth impact study. This work is aimed at elucidating impact without control interventions.

In 1985, MacLean began a study of impact of budworm on spruce species (white, red, and black spruce) in New Brunswick in cooperation with the New Brunswick Department of Natural Resources and Energy (N.B. DNRE). Data are collected annually from 136 permanent sample plots, selected by species, maturity, protection, and previous (1980–83) volume increment. This long-term study, intended to continue into the 1990s, is linked directly with N.B. DNRE forest management planning procedures.

There are three separate components to the NeFC impact study of Raske and Dobesberger. Eighty permanent sample plots were established in 1975 in fir and black spruce stands, measured annually for defoliation until 1981 when the budworm outbreak collapsed, and measured for mortality up to now. The plan was to harvest the plots in 1984 and complete stem analysis of the trees to provide the growth data necessary to adequately assess impact. Resources to complete the study, however, have not been available, partly because the resources and manpower from the impact study were transferred to an experimental spray program for the hemlock looper. The second component of the NeFC impact study involved study of impact of spruce budworm on moose browse (Raske in cooperation with Newfoundland Division of Wildlife), and the third component was based on artificial (manual) defoliation. Fifty young balsam fir trees were manually defoliated by different amounts for 2 years, stem analyzed, and current annual volume increment was related to defoliation and foliage biomass. This approach will require verification of the comparability of effects of natural and artificial defoliation. Data generated formed part of the Ph.D. project of Dobesberger at the University of Toronto.

The impact studies at GLFC and NoFC are conducted as a component of broader FIDS damage appraisal efforts. In north–central and northwest Ontario, 15 plots were established by Roden and Gross and studied to determine volume loss and mortality estimators. Another 24 plots in northern Ontario were aimed specifically at white spruce. Spruce budworm-caused depletions are being estimated annually in Ontario, and these studies are aimed at improving the loss estimators. At NoFC, Moody established 13 permanent plots in white spruce and balsam fir stands in Manitoba in 1981, and measured them annually for defoliation and impact.

Impact on Regeneration and Succession

Huot (Forestry Canada — Maritimes) and Meades (NeFC) are examining effects of budworm outbreaks on regeneration and long-term succession. Huot studied budworm effects on regeneration using permanent plots on Cape Breton Island since 1982, and also used historical data from plots in northwestern New Brunswick (Green River area) to look at long-term effects of the 1950s outbreak in that region. Both studies were conducted in balsam fir stands. A collaborative study of regeneration in stands on the Cape Breton Lowlands was also conducted in conjunction with the Nova Scotia Department of Lands and Forests. In 1980, Meades established 10 plots in each of two different stand types in western and central Newfoundland to look at vegetation change during and after a budworm infestation. The intention was to remeasure the plots in 1985 and continue the study to 1990, but the resources have not been available to conduct the remeasurement. This study is only a small component of Meades' time, and expansion in the impact area is not planned.

Studies of Deterioration, Secondary Insects, and Disease

Only two Forestry Canada studies, both at NeFC, are currently examining the interaction of budworm outbreaks with the progress of sap rot, deterioration of dead wood, and susceptibility to secondary insects and disease. Warren is studying deterioration of budworm-killed and hemlock looper-killed fir and black spruce stands in western and central Newfoundland, and Bowers is examining the role of secondary insects (woodborers and bark beetles, in particular *Polygraphus rufipennis*) in the death and deterioration of black spruce. Budworm populations have declined and are currently at low levels in Newfoundland, so additional budworm-related work is unlikely in the near future. In addition, Wall and Ostaff (Forestry Canada — Maritimes) have studied aspects of deterioration of budworm-killed balsam fir on Cape Breton Island, and Basham (GLFC) has worked on deterioration of balsam fir in Ontario; Wall has since transferred to PFC, and his study was terminated.

Discussion of Issues and Concerns

Importance of Impact Research

The demand by forest managers for methods and data to accurately forecast wood production in stands or forests influenced by budworm damage can only increase in the future. Forest management planning and decision making are based largely on forecasts of productivity or projections of forest growth and yield for specific areas. Budworm damage can drastically reduce forest productivity and cause mortality of millions of cubic metres of timber, and must be considered in yield projections. This requires data to quantify the relationships between defoliation, growth loss, and mortality.

There is generally more interest in impact studies in those regions where budworm host species form a major component of the forest and where there is a tight balance between timber supply and demand (that is, the Maritime provinces, Maine, Newfoundland, and parts of Quebec). There has been strong support for the Forestry Canada — Maritimes impact research from forest industries and provincial government agencies in the Maritime provinces. Similarly, in the Prairie provinces and Newfoundland, impact research is seen as a high priority by Forestry Canada and by provincial and industrial agencies. Impact research is given less priority at GLFC and LFC, probably due to less reliance of industries on balsam fir in Ontario and provincial collection of their own impact data in Quebec.

LFC is currently the only Forestry Canada regional establishment that does not have a research program on budworm impact or damage appraisal. The review committee believes that LFC, in conjunction with MER, should explore the need for further Forestry Canada budworm impact research in Quebec. Such a study is necessary to quantify the effects of budworm defoliation on growth and yield for a variety of conditions, and it would be useful if LFC could assist in the overall Forestry Canada effort.

Coordination of Forestry Canada Impact Research

A lack of interaction among researchers working on impact in different Forestry Canada establishments was noted in most regions, and therefore it is recommended that a working group on impact (damage appraisal) be established (**Recommendation 4**). A budworm impact working group was formerly active, but it was not continued after the CANUSA program. The recommended working group should include both researchers and FIDS personnel, and should be structured to have at least periodic contact with "users" (provincial government and industrial personnel). The working group should include personnel from each Forestry Canada region (including PFC), and should deal with the effects of economically important insects and and yield. Since impact research is really a subset of growth and yield work, this group should interact with any other Forestry Canada groups involved with growth and yield research.

Impact and population biology research studies should be integrated more closely, perhaps by organizing simultaneous meetings of the two working groups. Further, impact and population biology research studies should use the same plots whenever possible.

Establishment of a Forestry Canada Impact Plot Network

In general, it would be inadvisable for Forestry Canada to establish a standardized permanent sample plot (PSP) network in each region for use in quantifying impact. PSP establishment and remeasurement is expensive, so plots should exist because of a specific need or usage in that particular region. Also, whenever possible, plot usage should be coordinated among various research studies and with other agencies such as industry or provincial government. Cooperative endeavors involving researchers and management agencies, the ultimate "users" of the information, will benefit both parties and should be strongly encouraged.

Future Directions of Impact Research

The precise role of Forestry Canada in determining depletions caused by insects and disease was considered unclear, and should be clarified for each region (**Recommendation 5**). We recommend that Forestry Canada's role be limited to developing methodology and loss estimators for various stand types, defoliation scenarios, etc. and not include monitoring the extent of impact in particular areas. Further, Forestry Canada should give high priority to these endeavors, consistent with the support and interest being shown by industrial and provincial government agencies.

Forestry Canada should increase its efforts to develop methods to forecast wood production in stands or forest influenced by budworm, and to develop defoliation-based stand growth models. This work should be conducted in close cooperation with appropriate personnel from user agencies to ensure that forest manager's needs are being addressed. Continuation of the collaborative Piene–Fleming (Forestry Canada — Maritimes – FPMI) efforts in this direction is recommended.

There was a strong consensus among impact researchers regarding the areas that need more work. Research on budworm impact in Forestry Canada should be expanded, specifically in the following areas: (1) quantifying effects of defoliation on spruce species, (2) development of defoliation-based stand growth models and methods to forecast wood production, and (3) studies of the mechanisms whereby trees react to defoliation. The highest priority is obtaining better impact data on the spruce species, white spruce in the Prairie provinces, white spruce and black spruce in most regions, and also red spruce in New Brunswick and Nova Scotia. There is a tie-in here with the need for better sampling techniques for the spruces. Detailed work relating growth to foliar biomass as well as defoliation should be conducted in at least one region, and several studies in different regions should be carried out to provide a variety of defoliation scenarios, stand, and site conditions. It is important that more consideration be given to the impact on the "new forest," the plantations, thinned stands, etc., that form an increasingly large component of the forest each year. The detailed impact studies should proceed at a more mechanistic level than in the past, to provide information on how trees react to defoliation; this may require consideration of defoliation effects on tree physiology, foliage quality, fine root production, etc. In general, further work on foliage quality is encouraged; this work should be integrated closely with the Forestry Canada population biology studies.

The committee notes that relatively little research on deterioration after tree death, secondary insects and disease, and *Armillaria* sp. root rot is currently proceeding within Forestry Canada, and encourages further work in these areas. Considering the magnitude of forest inventory depletions caused by insects and disease, deterioration work and pathology in general are probably not receiving the effort they deserve.

Resources for Completion of Newfoundland Forestry Centre Impact Studies

In Newfoundland, the spruce budworm outbreak collapsed in 1981 and populations have remained at low levels. Forestry Canada has invested considerably in the establishment and annual measurement of 100 permanent sample plots in two NeFC impact studies (NE-2711 Raske and Dobesberger, and NE-2714 Meades). Although harvesting, growth analysis, and plot remeasurement were planned for 1984–85, resources have not been available to do this because of local priorities. The trees must be harvested soon, before more external factors influence development of the sample stands; otherwise, much of the effort already expended will have been wasted and valuable impact data will be lost. The committee recommends that NeFC give priority to allocating resources to studies NE-2711 and NE- 2714, to complete planned remeasurement and analysis of existing sample plots as soon as possible (**Recommendation 6**).

Impact on Regeneration and Succession

The Forestry Canada — Maritimes and NeFC studies of impact on regeneration and succession (Huot and Meades) have thus far dealt exclusively with unprotected, "natural outbreak" situations which are the exception rather than the rule in many regions. The data generated, though valuable in their own right, are not applicable in predicting regeneration and development in stands influenced by a combination of defoliation, spraying, and harvesting operations. NeFC does not anticipate further work in this area. However, Forestry Canada — Maritimes study MC-04-201 (Huot) could be expanded to determine the effects of both budworm defoliation and harvesting on regeneration and cutover response. For example, plots could be selected in stands with different defoliation scenarios (spray histories) and site conditions, and regeneration could be assessed pre- and postharvest, to quantify the effects of both defoliation and harvesting on postharvest stand development. In general, more data are available on impact on regeneration and succession in fir stands than in mixed spruce-fir or spruce stands; further work should be concentrated on the latter types.

Chapter 5. Research on Spruce Budworm Control

Introduction

Despite the recurrent severity of spruce budworm damage and the extent of control operations against populations in Eastern Canada, there are remarkably few options currently available for control of this forest pest. There are several reasons for this situation. The erratic nature of pest control programs in forestry in recent years and the ever increasing switch toward *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* (*B.t.*) make it an uninviting market for commercial research and development of new insecticidal materials. In addition, there are persistent public concerns about the impact of these insecticides on nontarget organisms, and in many jurisdictions, a lack of political will to defend control programs in the face of environmental concerns. But more fundamental than these economic and environmental factors is the fact that forest protection against spruce budworm has focused on keeping trees alive rather than on the development of a pest management program throughout the life of the forest stand and the duration of the budworm cycle. This is not surprising given the extent and duration of the last outbreak, but the result has been that management of spruce budworm has been typically crisis management. By the time action is taken, the problem is severe and large-scale control operations are unavoidable. This has meant extensive aerial application of insecticides. Although the currently registered insecticides, fenitrothion and *B.t.*, are demonstrably effective, public concern over their extensive use and the difficulty and expense of developing and registering new insecticides for use in the forestry sector threaten to further restrict the options for pest control. Not only do we need new options but we need new strategies that examine those options from the perspective of developing a diverse and integrated approach to managing spruce budworm.

The categorization of control-oriented research into either chemical or biological control is an oversimplification that is misleading and politically contentious. To date, public opposition and political reaction have been largely directed at traditional organic chemicals. This has resulted in the understandable tendency for some researchers to identify their research as biological control (that is, **not** chemical control) wherever possible. Other researchers, in particular those involved in research that is clearly biological control in its most restricted sense (that is, the use of natural enemies against pest populations) argue that expansion of the definition of biological control may make the term meaningless. Disagreements in definition are due to advances in our understanding of biological processes and to the advent of new products such as *B.t.* and insect growth regulators, which make the distinction between what is and what is not biological control a valid controversy.

In this chapter, we have grouped programs that tend to be similar in research methodology and expertise. The following three classes of budworm control have been identified: (1) **chemical control** — traditional chemical insecticides; (2) **biochemical control** — pheromones (as used for control) and insect growth regulators; and (3) **biological control** — entomopathogens (including *B.t.*), predators, and parasitoids.

The use of most control products involves similar technical procedures regarding formulating the product, applying the product, and assessment of its efficacy. These common issues are treated separately in an **application technology** section. This chapter also includes a section on the **environmental impact** of control operations. To date, Forestry Canada studies have concentrated on the environmental impact of chemical insecticides, but it seems likely that all budworm management activities, including no action at all, may eventually be subject to environmental impact assessment.

Spruce Budworm Chemical Control Research

Background

Under chemical controls we consider the study of factors affecting toxicity of all the traditional broad-spectrum insecticides. These will continue to be important management tools in combating

spruce budworm outbreaks in the immediate future. Chemical control research includes screening insecticides for toxicity and conducting trials to appraise new spray materials. In addition, data on larval behavior in its microhabitat are collected to help explain insecticide effectiveness in the field and to provide guidelines for improving spray strategies.

Current Status of Chemical Control Research

Forestry Canada research effort on budworm chemical control has declined as *B.t.* usage has become increasingly prevalent. We consider only two Forestry Canada studies as spruce budworm chemical control research, those of Helson at FPMI and Nigam at Forestry Canada — Maritimes (Table 4). Considerably more Forestry Canada effort, especially at FPMI, is directed at chemical control of other insects and at application technology of insecticides for budworm control. This is covered in a later section of this chapter. Budworm chemical control work at Forestry Canada — Maritimes involves field studies that provide data on budworm behavior in its microhabitat (Nigam). The goal is to determine how postspray weather and budworm behavior influence the effectiveness of control practices. Budworm chemical control research at FPMI is currently in a state of flux. There are few chemicals available and some of these are going out of production because of poor cost recovery for the producer. Despite this, FPMI is maintaining its screening capability for budworm insecticides and providing information needed for registration (Helson).

Spruce Budworm Biochemical Control Research

Background

Biochemical control research in Forestry Canada includes work on pheromones, the insect-produced compounds that regulate mating, and insect growth regulators (IGRs), chemicals that interfere with insect-specific processes such as pupation and molting. These biochemicals are being studied because of their potential use as insect-specific control agents.

IGRs are similar to conventional chemical control agents regarding their proposed usage and application in budworm control (for example, foliage protection via reduction of number of feeding larvae). Pheromones, when used against spruce budworm, are different because they do not protect foliage in the year of application. Their effect is to disrupt normal mating behavior and reproduction, which results in fewer insects in the subsequent generation. Their role is therefore limited, at least in the year of application, to population reduction.

Current Status of Biochemical Control Research

Table 5 summarizes the Forestry Canada studies that deal with spruce budworm biochemical control, and lists their 1987–88 resources. Forestry Canada research on the use of the sex pheromone as a control agent is carried out at FPMI and GLFC. Grant (FPMI) is investigating the role of the sex pheromone in close range behavior of moths. Sanders (GLFC) is conducting wind tunnel experiments to determine how disruption can be made more effective, and is engaged in limited scale field testing. One reason for the lack of further involvement by Forestry Canada in field testing is the extensive program carried out by Seabrook and associates (UNB). Also, Forestry Canada does not have the expertise for the chemical analysis of pheromone compounds, and this is being investigated by Silk and associates (N.B. RPC). The specialized formulations and technology required for the aerial distribution of pheromones, and only limited efficacy so far in field tests, make it difficult to evaluate the potential operational use of pheromones at this time.

Table 4. Two Forestry Canada research studies that deal with spruce budworm chemical control research (see Table 7 for application technology and field efficacy research)

Study	Leader	Subject area	1987–88 resources[a]		
			Perm. PY	Casual[b] PY	O&M$
FP-50-1	Helson	Insecticide screening	1.0	0.05	2 200
MC 04-195	Nigam	Budworm behavior and spray efficacy	2.0	0.9	33 500

[a]Resources are prorated based on the percentage of the work on spruce budworm.
[b]Casual PYs include student allocation converted to an annual basis.

Table 5. Summary of Forestry Canada studies involved in spruce budworm biochemical control research

Study	Leader	Subject area	1987–88 resources[a]		
			Perm. PY	Casual[b] PY	O&M$
FP-30-1	Grant	Identifying pheromones	0.2	0.05	500
FP-31	Retnakaran	IGR registration	0.6	0.1	2 400
GLC-32 013	Sanders	Mating disruption	0.4	0.4	5 000

[a]Resources are prorated based on the percentage of the work on spruce budworm.
[b]Casual PYs include student allocation converted to an annual basis.

Retnakaran has been screening several new IGR compounds for activity against budworm. Complementary work includes lab studies of budworm physiology and the mode of action of these IGR compounds. Earlier questions about the safety of some IGRs have been satisfactorily resolved. This has prompted greater industrial interest in, and financial commitment to, developing and registering IGRs for forestry use. Nonetheless, registration of IGRs for operational use against spruce budworm is at least 4–5 years away.

Because most of the budworm biochemical control research in Forestry Canada has involved lab studies, declining local budworm population levels are unlikely to disrupt this research in the near future. But once these biochemical agents are ready for field testing, expensive travel to distant areas with high population densities may be necessary.

Spruce Budworm Biological Control Research

Background

We define biological control as the direct use of living organisms to regulate or reduce the abundance of forest pests, in this case, the spruce budworm. Research in biological control includes all studies designed to elucidate the biology and ecology of natural mortality agents and, in particular, research that aims to manipulate the biological attributes of mortality agents for more effective control. These natural mortality agents include microbial pathogens such as fungi, bacteria, protozoans, and viruses, as well as nematodes, parasitic insects (parasitoids), and vertebrate and invertebrate predators. Other activities such as male sterilization, genetic manipulation, and enhancement of host plant resistance are often considered biological control. However, none of the research programs reviewed by this committee included these latter approaches.

The specific concerns of biological control can be broadly grouped into: (1) locating natural enemies, (2) importation and quarantine, (3) rearing of stock, (4) release strategies, and (5) monitoring. Each of these concerns is discussed briefly below.

Location, identification, and description of natural enemies — Locating sources of living material may be carried out within Canada by Forestry Canada or outside Canada through collaboration with other agencies such as the Commonwealth Institute of Biological Control (CIBC) or the USDA Forest Service. Commercial availability of biocontrol agents such as *B.t.* and the egg parasitoid *Trichogramma minutum* can be considered here. Living organisms that are located must be identified or described by experts in the appropriate taxonomic specialities to ascertain the exact identity of the organisms that are released. In Canada, the Biosystematics Research Centre is mainly responsible for this activity and there is a FIDS position seconded to BRC for this purpose (Yoshimoto). Forestry Canada establishments have expertise in organisms such as microbials.

Importation and Quarantine — Importation of natural enemies is largely the responsibility of the scientists involved in the work. Shipments of living material must first be channeled through the Biocontrol Unit (Agriculture Canada) and may be subject to certain restrictions specified by the Plant Quarantine Division.

Rearing: Multiplication and Biological Manipulation of Stock — This includes many of the Forestry Canada activities in biological control because testing and experimentation precede most biological control programs and because a high level of expertise is required to multiply stock. Although production of *B.t.* is now commercial, mass production of other pathogens is still at the research stage and hence is within the mandate of Forestry Canada. Rearing implies quality control and the possibility of improving the stock through new technologies such as genetic recombination.

Release Strategies — The application of microbial agents is largely concerned with spray technology, although recommended dosages and strategies regarding where and when to spray presume biological and ecological information. The release of predators and parasitoids requires little spray technology input and therefore releases are carried out solely by the biological control researcher.

Monitoring — Following release, determination of the impact and spread of the released natural agent requires extensive study using quantitative methods.

Current Status of Biological Control Research

Spruce budworm biological control research in Forestry Canada includes work on six categories of organisms: *B.t.*, fungi, protozoa, viruses, nematodes, and predators and parasitoids. Each of these will be discussed below. The studies involved in this research, and their 1987–88 resources, are summarized in Table 6.

B.t. — Because of widespread operational use of *B.t.*, this is an active area of research. Major improvements have been made in the formulation, concentration, and application of *B.t.* Forestry Canada (Fast) has played an important role in the development of the Biocide Network, which is an active group of researchers investigating means of improving *B.t.* and utilizing biotechnological approaches to develop new and improved pesticides based on the *B.t.* crystal protein. Fast's work on biochemically characterizing *B.t.* toxins and screening different variants for activity is continuing. Although Fast has recently retired, a technician (Milne), currently on educational leave at Laurentian University for an M.Sc. and possibly a Ph.D. related to *B.t.* biotechnology research, may eventually take over the study. Immunological techniques such as monoclonal antibodies are being developed (Pang) which will help identify the most effective strains of *B.t.* and permit estimation of their toxicity. These methods will be extremely useful with the proliferation of commercial strains of *B.t.* There are also studies on the interactions between *B.t.* and its hosts (van Frankenhuyzen). But these advances in *B.t.* research are not necessarily specific to the spruce budworm or even to forest insects. Although the principles will obviously be applicable to future budworm control, apparently during the next few years, the research emphasis on *B.t.* at the commercial level, and to a certain extent within Forestry Canada, will not be solely with the spruce budworm.

Fungi — The emphasis in research on entomogenous fungi infecting the spruce budworm has shifted away from a primarily biological control objective to one of understanding the biological and ecological processes of budworm–fungus relationships. This shift has come about because of increased integration of insect pathology and population dynamics research. This development is based on the premise that these more basic studies are prerequisites to the development of a sound biological control program. Another requirement will be to develop techniques to produce sufficient quantities of the fungi for introduction into field populations of budworm.

There are now studies of insect pathology associated within each of the population studies in Ontario (Tyrrell, Nealis), Quebec (Perry), New Brunswick (Strongman), and Newfoundland (Lim). However, the effort and continuity of work varies substantially between regions. The greatest committment and effort is now in Quebec (Perry). The position in New Brunswick is based on a PDF (Strongman) and is therefore temporary, and research in Ontario and Newfoundland has declined significantly in the past 3 years as personnel and programs have changed.

Primary importance in these studies is placed on establishing a bank of fungal isolates derived from extensive surveys of budworm populations (Perry, Strongman). Interest centers on differences in the critical attributes of these isolates, in particular the environmental conditions promoting resting spore germination (Perry) and modeling the developmental responses of pathogens (Fleming). The question of conditions determining resting spore germination is a key to biological control using entomogenous fungi. Once it is possible to manipulate the formation and germination of resting spores, existing fermentation technology can be applied to the mass production of pathogenic fungi.

Protozoa — The termination of the only study in Forestry Canada that specifically examined protozoan pathogens (FP 40-3) ended, research on the direct use of protozoans in spruce budworm control. The previous study leader (Wilson) has continued to provide support for the population dynamics study in Ontario (Lysyk, Nealis). Among the population studies, there is still interest in the role of protozoan pathogens in natural budworm populations but there are no new studies planned.

Table 6. Summary of Forestry Canada studies involved in spruce budworm biological control research

Study	Leader	Subject area	1987–88 resources[a]		
			Perm. PY	Casual[b] PY	O&M$
NE-2802	Lim	Entomogenous nematodes	0.1	0.0	500
MC-04-217	Strongman	Budworm–fungus relationships	0.0	0.3[c]	750
LFC-2105	Perry	Insect pathology	1.0	0.1	13 500
LFC 2234	Valéro	Insect pathology	1.5	0.0	8 000
FP-lO-l	Fast	*B.t.* chemistry and mode of action	0.6	0.0	1 800
FP 10 2	van Franken-huyzen	Bacterial pathogens	0.5	0.25	2 500
FP-13-1	Arif	Viruses	1.6	1.0	6 000
FP-22	Pang	Immunochemistry of pathogens	1.8	1.0	6 800
FP-ll	Tyrrell	Fungal pathogens	1.2	0.0	2 500
FP-40-3	Wilson	Microsporidia	0.1	0.0	100
FP-23	Fleming	Forecasting pathogen development	0.3	0.0	500
GLC-32-162	Wallace	Development of biocontrols	0.25	0.25	4 000
GLC-32-153	Nealis	Parasites of spruce budworm	0.5	0.25	2 500

[a]Resources are prorated based on the percentage of the work on spruce budworm.
[b]Casual PYs include student allocation, converted to an annual basis.
[c]This is a PDF (salary $25 000 from O&M) scheduled to terminate in 1988.

Viruses — During the 1970s, extensive spray trials of four different types of viruses were carried out against the spruce budworm. The conclusion reached was that effective use of viruses against spruce budworm was not a simple problem. Several factors, including an inefficient mode of viral transmission within budworm populations and interactions between viruses and other pathogens, were cited as contributing to the variable results obtained. It was felt that although advances in virus production and formulation may improve efficacy, there was a real need to return to basic laboratory studies as the most promising approach. Field trials, if carried out at all, should be on a small scale. That position is supported by the rapid development of new technologies in molecular biology which may permit manipulation of the viral genome and the production of new recombinants that are more virulent. Such an approach is being pursued at FPMI for spruce budworm viruses by Arif. Despite the current decline in budworm population levels, this research will continue because the spruce budworm is a favorable laboratory organism for this basic research.

Researchers at LFC have observed a new viral entity resulting from the introduction of two viruses into the spruce budworm and believe that the potential of this virulent new entity is high (Valéro). It is not known whether this new entity represents a recombinant with greater virulence or whether the pathogenicity is the result of synergism. Despite this question, field trials were carried out in 1987.

Nematodes — Limited work has been carried out on nematodes as biological control agents of spruce budworm. Laboratory studies at Memorial University in Newfoundland established the ability of some nematodes to infect early instar budworm larvae, but concluded that it was unlikely that nematodes would be effective under operational conditions. There is one active study on entomogenous nematodes in Forestry Canada (Lim) but the spruce budworm is not the main target. At Forestry Canada — Maritimes, Eidt has proposed taking advantage of the new laboratory facilities, as well as the existence of Canadian production units and expertise on entomophilic nematodes, to initiate a new study of budworm control using a different group of nematodes than has been previously used. Problems associated with using an essentially soil organism in an arboreal situation might be overcome by new formulations. The feasibility of this approach could be adequately assessed in the remaining 3 years before Eidt plans to retire.

Predators and Parasites — Most research on predators as biological control agents of spruce budworm has focused on arthropods. There has also been considerable interest in birds, and to a lesser extent ants, as predators of budworms but this has been largely from the perspective of population biology. There are currently no efforts under way to enhance predation of spruce budworm as a biological control strategy.

Insect parasitoids have commanded the most attention as biological control agents. Their role in the population dynamics of the spruce budworm is currently under intensive study, and this work will form the basis for future biological control strategies.

The biological control efforts with parasitoids fall into two broad approaches, inoculative releases and inundative releases. The **inoculative release** strategy refers to the classical approach of introducing new natural enemies into populations. A few small releases have been made into budworm populations over the past 40 years and the results have not been encouraging. The current approach is to try and establish new host–parasitoid associations by testing foreign parasitoids of closely related defoliators against the budworm, to develop methods to multiply stock before release, and to make releases in conjunction with existing population studies. The appointment of a forest entomologist with the CIBC in Delemont, Switzerland (Mills), has increased opportunities for collecting parasitoid material from Europe. These new parasitoids are being tested against spruce budworm in Canada (Nealis). To date, one parasitoid species (*Apanteles murinanae*) has been successfully reared on budworm and the feasibility of establishing a mass-rearing program has been demonstrated. Screening of other parasitoids is continuing.

The inundative release strategy consists of mass releases of laboratory-reared parasitoids to enhance existing, natural parasitoid populations. A recent program using the egg parasitoid, *Trichogramma minutum*, was supported by Forestry Canada (Wallace) in conjunction with two Ontario universities and the Ontario ministries of natural resources and environment. After the

completion of the original proposed study and preparation of results for publication, future research on *Trichogramma* is taking two directions. The Faculty of Forestry of the University of Toronto is pursuing proposals that emphasize continuing operational aspects of inundative releases of *Trichogramma*. The position of Forestry Canada researchers is that rather than further refine operational aspects, there is a need to address more fundamental limitations in supply and quality of *Trichogramma*. Current interest in Forestry Canada, therefore, centers on methods of mass producing and assessing the quality of strains of T. *minutum* (Wallace). The capability of mass producing a second naturally occurring spruce budworm parasitoid (*Apanteles fumiferanae*) has recently been demonstated (Nealis), but there are no plans now for inundative releases.

Insecticide Application Technology Research

Background

Insecticide application technology research involves the study of factors affecting the physical properties of the spray and its efficacy in the field. Many of the procedures for studying field efficacy are common to chemical insecticides, to some biochemical insecticides (insect growth regulators), and to some biological insecticides *(B.t.)*. Hence, for convenience, we have grouped all control research involving such field efficacy testing procedures together in this section. The various activities of application technology research can be split into two broad categories: (1) **Physical properties research**, which is aimed at improving the targeting of sprays, increasing the persistence of the active ingredient on foliage, and reducing drift so that lower spray volume rates and smaller set-back areas can be used. This is accomplished by attention to application equipment, tactics, and spray formulations. (2) **Field efficacy research**, which is concerned with providing data on the efficacy and use strategies for various budworm control chemicals in the field. In addition, the effect of postspray weather on pesticide effectiveness is examined to provide a basis for suggesting improvements to spray strategies and formulations. This represents the final stage in testing before a new material or strategy is judged to have the potential for registration and operational use.

Current Status of Application Technology Research

Forestry Canada effort on application technology research has shifted towards biological insecticides. Research on traditional chemical controls will probably decline further as population levels drop over larger areas and less spraying is required, and as chemical insecticides are progressively withdrawn from use in several jurisdictions. Moreover, low local budworm population densities may force research teams to make expensive travel to remote areas to find the higher population levels needed for estimating efficacy through field tests. Chemical control field testing is also likely to decrease due to general Forestry Canada resource restrictions and due to an increasing tendency for some provinces (for example, Ontario) to severely restrict research spraying.

Forestry Canada research on application technology for spruce budworm control is concentrated at FPMI (4.5 PYs, $17 000 O&M) and CFS-M (2.6 PYs, $18 000), with one study at each of GLFC, LFC, and NeFC. Table 7 lists the Forestry Canada studies on application technology related to budworm control and their 1987–88 resource levels. Much of this research, particularly at FPMI, is transferable from insect to insect: same chemical, same spray technology. Hence it is difficult in some cases to determine the research resources devoted specifically to the spruce budworm.

Each lab makes its own unique contribution to the Forestry Canada effort on application technology research. Work at GLFC, LFC, and NeFC is focused on spray efficacy. At GLFC, Meating is providing field evaluation of new materials, particularly biologicals, and information to improve the timing of spray applications. Valéro (LFC) and Raske (NeFC) are both involved in field testing various adhesive and carrier formulations for spraying *B.t.* Valéro plans to continue work on *B.t.* adhesives for the near future, but longer term plans include field tests of new virus sprays as they are produced by his study. At NeFC, testing spray carriers in the experimental spray program will be continued by

Table 7. Summary of Forestry Canada research studies that deal with application technology of insecticides for spruce budworm control

Study	Leader	Subject area	1987–88 resources[a] Perm. PY	Casual[b] PY	O&M$
		Application Technology			
FP-61-1	A.Sundaram	Pesticide formulations	0.75	0.0	2 800
FP-61-2	A.Sundaram	Formulation methodology work	0.75	0.0	2 800
FP-23	Fleming	Predicting formulation properties	0.1	0.0	150
FP-62-1	Payne	Pesticide atomizers	0.03	0.0	150
FP-62 2	Payne	Pesticide dispersal and drift	0.03	0.0	150
		General Field Efficacy			
NeFC-2712	Raske	Effectiveness of insecticides	0.5	0.0	10 000
GLC-09-42	Meating	Evaluation of pest management actions	0.7	1.3	5 500
MC-04-190	Eidt and Kettela	Aerial spray efficacy	0.9	0.9	18 000
MC-04-209	Kettela	Control strategy appraisal	1.7	0.0	0
FP-51-1	Cadogan	Insecticide efficacy testing	0.5	0.05	2 700
FP-51-2	Cadogan	Field efficacy methodology	0.5	0.05	2 700
		Field Efficacy of Biologicals			
FP-lO-2	van Franken-huyzen	Insect–*B.t.* interactions	0.5	0.07	2 800
FP-13-2	Cunningham	Field-testing viruses	0.2	0.0	300
FP-13-3	Kaupp	Virus epizootiology	0.25	0.07	2 800
LFC-24	Valéro	Field-testing new formulations	0.3	0.8	3 000

[a]Resources are prorated based on the percentage of the work on spruce budworm.
[b]Casual PYs include student allocation converted to an annual basis.

Raske, to the extent that resources are available for insect control research. A need exists for more coordination and communication between these labs and FPMI and Forestry Canada — Maritimes, where most of the Forestry Canada application technology research is conducted.

Work at Forestry Canada — Maritimes on application technology for budworm control is concentrated on investigating the mechanisms involved in determining spray efficacy. Collaborative field studies with the N.B. Spray Efficacy Research Group (N.B. SERG) provide data on fenitrothion deposit distributions and spray timing (Kettela and Eidt). The objective is to elucidate the effect of postspray weather on spray deposit, budworm vulnerability, and the effectiveness of control practices. Kettela also conducts field trials to appraise new control strategies and tactics (for example, using helicopters to protect high-value stands).

Application technology research at FPMI is currently in an uncertain situation. Decisions by the Ontario Ministry of Natural Resources in 1987 forced Cadogan to cancel efficacy trials in northern Ontario. Because of this, Cadogan worked on studies of budworm/host tree interactions. Any future bans on field testing of chemical insecticides in Ontario may force Cadogan to conduct trials in other provinces, despite the increased costs. The limited number of new chemical products has meant a shift of emphasis to field testing *B.t.*

The decline in budworm population levels has already resulted in a shift in direction of application technology research at FPMI, to greater concentration on developing control techniques for pest species other than budworm. For example, Payne is working increasingly on herbicides. A. Sundaram is also doing more work on herbicides, although she has maintained lab studies of the influence of additives and temperature on the physical properties of oil-based formulations of various budworm insecticides. Fleming and A. Sundaram are collaborating in the development of predictive models based on these data.

FPMI intends to maintain a solid effort on insecticide application technology, particularly with microbials, despite low budworm population densities. Field tests of *B.t.* (van Frankenhuyzen) and NPV viruses (Cunningham), and Kaupp's virus epizootiological studies are emphasizing other insects. FPMI hopes more testing of *B.t.* for budworm control will be performed by local establishments in the future, so that FPMI can concentrate on testing *B.t.* against other insects. A key question about the current *B.t.* formulations is whether they will work as well in controlling budworm when the population is in an increasing phase as they do for declining populations, as a result of the different action of mortality factors.

Spruce Budworm Related Environmental Impact Research

Background

Forestry Canada is one of several agencies involved in spruce budworm related environmental impact research. Other federal agencies, as well as provincial and university groups, also contribute. The role of Forestry Canada research in this area can be split into two broad objectives: (1) to collate data on the risks associated with the use of new or modified pest control agents to obtain their registration or approval, and (2) to cooperate with other agencies in developing appropriate methods and protocols for assessing the environmental impact of operational control programs and to explain unexpected impacts identified by routine environmental monitoring. Unexpected impacts of operational control programs include the results of spray incidents such as formulation errors, equipment failures, emergency dumps, and navigational errors.

Although Forestry Canada budworm related environmental impact research is focused on pesticides and other agents intended to directly affect budworm populations, the objectives stated earlier could include the assessment of actions that alter forest composition and development to make the forest less subject to damage caused by budworm defoliation. The environmental impact of habitat changes due to long-term effects of budworm outbreaks, and associated silviculture management activities to reduce budworm impact, are currently not being evaluated.

Current Status of Environmental Impact Research

Current Forestry Canada research efforts on budworm related environmental impact research are centered at FPMI (8.3 PYs, $28 000 O&M), with Forestry Canada — Maritimes and LFC the only other Forestry Canada establishments with studies on this subject. Table 8 summarizes the current (1987–88) Forestry Canada research commitment to budworm related environmental impact research. In Table 8 keep in mind that much of this work is transferrable from insect to insect: same chemical, same application procedure. This makes it difficult to determine the research effort directed specifically at budworm.

Each lab tends to perform a slightly different role in contributing to the overall Forestry Canada effort on environmental impact. At LFC, Valéro's efforts are directed at the provincial approval/licensing stage of the assessment process. In the past at Forestry Canada — Maritimes, Eidt dealt with assessing impact during budworm control operations in terms of both developing methodology and explaining unexpected effects. This work was conducted by Forestry Canada — Maritimes as a component of the Committee for Environmental Monitoring of Forest Insect Control Operations. However, Eidt is withdrawing from environmental impact research to study the potential of nematodes for budworm control.

Most environmental impact work at FPMI focuses on registration and preregistration assessment of candidate control products. The philosophy is that conducting environmental impact screening of candidate control agents within the same organization that is determining efficacy allows assessment before their recommendation for use and ensures that an appropriate balance is struck between efficacy and environmental risk. By predicting the environmental impact of insecticides at dosages projected for forestry use, this work helps to define potential roles for particular insecticides.

Traditionally, Forestry Canada's work on environmental impact has focused on field studies of short-term spray impacts, with little sustained research effort into the cumulative or secondary effects of spraying. In general, this seems likely to continue. However, FPMI is playing a decreasing role in studying impacts of operational control programs or developing methodology for monitoring insecticide applications, and is transferring the existing technology to the agencies that are actually doing the monitoring. Because other jurisdictions are doing more of the operational impact assessment, FPMI is becoming increasingly involved in long-term or more basic pesticide–ecology studies. Specifically, Helson is examining the toxicity of selected insecticides to nontarget organisms, particularly aquatic insects and pollinators. Kingsbury heads Project FP-70 which includes studies by Barber, Holmes, Kreutzweiser, and Millikin. Kingsbury also advises provincial agencies as needed on their environmental assessment activities. Barber is investigating the potential toxicity of selected forest pesticides on pollinators and other terrestrial nontarget invertebrates. Holmes and Millikin are currently doing M.Sc. degrees at Queen's University and the University of British Columbia, respectively, on the impact of fenitrothion on the behavior of Zebra finch in the lab, and on songbird communities in the field. Holmes and Fleming are collaborating with Forestry Canada in a field study examining the effect of Zectran on forest songbirds. Kreutzweiser has collected baseline data on fish and invertebrates at Icewater Creek, and has injected permethrin to assess the impact of aquatic invertebrate losses on fish behavior and growth. K. Sundaram conducts field and lab studies of the uptake, translocation, and fate of various insecticides.

Discussion of Issues and Concerns

Use of Chemicals for Forest Protection

Foliage protection via application of larvicides will be a required procedure in forest management for the foreseeable future. However, there are currently only two options for spruce budworm control, to spray fenitrothion or *B.t.* Only *B.t.* is being sprayed operationally in Ontario, Quebec, and Nova Scotia. This is largely the result of political, not scientific, decisions. Once the switch to *B.t.* has been made in a particular jurisdiction, it will be difficult to bring back a chemical insecticide even if it is the best alternative for the job. Because of this increasing swing to *B.t.*,

Table 8. Summary of Forestry Canada studies involved in spruce budworm related environmental impact research

Study	Leader	Subject area	1987–88 resources[a]		
			Perm. PY	Casual[b] PY	O&M$
LFC-24	Valéro	Provincial approval/ licensing of *B.t.*	0.2	0.0	1 000
MC-04-192	Eidt	Fate and effects of insecticide drift	1.1	0.0	3 000
FP-23	Fleming	Analysis of toxicological relationships	0.3	0.0	450
FP-50-3	Helson	Toxicity to nontarget organisms	0.7	0.05	1 520
FP-70-1	Kingsbury & Holmes	Dose response relationships	1.5	0.3	3 750
FP-70-2	Kingsbury & Kreutzweiser	Aquatic impact	0.6	0.0	1 500
FP-70-3	Kingsbury & Millikin	Terrestrial vertebrate impact	1.5	0.0	3 750
FP-70-4	Kingsbury &Barber	Terrestrial invertebrate impact	1.5	0.3	3 750
FP-71-1	K.Sundaram	Environmental fate of insecticide drift	1.1	0.1	6 650
FP-71-2	K.Sundaram	Methodology development	1.1	0.1	6 650

[a]Resources are prorated based on the percentage of the work on spruce budworm.
[b]Casual PYs include student allocation converted to an annual basis.

industry is becoming more interested in developing *B.t.* and is discontinuing the production of certain chemicals (for example, Matacil). It is critical to forest management that more than one spray material always be available, in case one becomes unexpectedly associated with some problem such as environmental or human health concerns. At this time, we think that Forestry Canada and in particular FPMI should maintain expertise and research effort on chemical insecticides, although some shift in emphasis to biologicals is certainly warranted.

The data requirements for provincial decisions on approval of pest control products vary among jurisdictions, and were felt to be somewhat unclear. Although provincial regulatory agencies in general tend to accept federal registration, additional data requirements often arise from concerns expressed by other agencies or groups after a material is in use. This type of issue will periodically arise and can not really be predicted. Licensing requirements should, as much as possible, be stable over time.

A further control issue concerns future product development. FPMI has been developing a registration package for Zectran, but this insecticide may not be profitable for May and Baker because of a small market, and their intentions regarding Canadian registration are unknown at present. This raises the question whether government should get involved in the development or industrial production of insecticidal materials that are effective and environmentally safe but which have limited demand (because they are highly selective) and therefore are dropped by industry. A similar issue concerns the cost of production of biological control agents, which can be as high as the cost of producing new chemicals. Examining the feasibility of inundative releases of natural enemies as an operational strategy requires larger expenditures than most studies can manage. Without some mechanism for studies to obtain additional support and collaboration, there will be little possibility for Forestry Canada to be involved in this aspect of control research. We recommend that Forestry Canada address the issue of government involvement in the development or industrial production of desirable insecticidal materials that have limited demand (**Recommendation 7**). Forestry Canada should be prepared to provide short-term support for the production and field testing of control agents.

There was unanimous support for the spray efficacy work conducted by N.B. SERG, and we believe that Forestry Canada should continue to support N.B. SERG through collaborative research projects with Forestry Canada — Maritimes and FPMI. Some researchers at FPMI thought that a specific technology transfer effort might be warranted to ensure that all operational spray people were familiar with results of the latest spray cloud dispersal work conducted by N.B. SERG. This has been at least partly addressed through the recent ACAFA Symposium on the Aerial Application of Pesticides, the proceedings of which will be available early in 1988.

Biochemical Control Research

Because of the declining availability of alternative budworm control options, development of biochemical agents, including IGRs and pheromones, will likely receive increasing attention. Forestry Canada should continue work in these areas.

A lack of coordination of pheromone control research among the different agencies involved (Forestry Canada, UNB, N.B. RPC) and differences of opinion in the optimum course of action in this area were identified as problems. Field trials were carried out by Forestry Canada between 1975 and 1981 but showed only limited effects. During the past few years, field trials have been conducted by Seabrook and his associates (UNB), which have been somewhat successful. Problems with formulations and experimental design remain. We therefore recommend that an informal pheromone control working group be established to coordinate both lab and field work on this subject (**Recommendation 8**).

Biological Control Research

Most scientists endorsed the idea that population studies provided an invaluable guide to the application of new biological control strategies. Forestry Canada should recognize that the framework for development of biological control programs is an understanding of population processes, and whenever possible, biological control efforts should be combined with population studies.

Most scientists also thought that the current emphasis on particular biological control agents was appropriate, given past experience and present opportunities. One area where opportunities might be lost or overlooked is in foreign exploration for new parasitoids to use against budworm. Presently, Forestry Canada contracts the CIBC Delemont Field Station for this service in Europe. However, the funding is tenuous, and something as unforeseen as an unfavorable exchange rate for the Canadian dollar has threatened this work recently. The potential of biological control agents in the forests of Asia (China, for example) has been completely overlooked. Forestry Canada should ensure a level of funding to the CIBC Delemont Field Station that will sustain a viable field program on natural enemies of the budworm and support active field work by Forestry Canada scientists wherever potential biological control opportunities exist (**Recommendation 9**).

Researchers working on biological control should collaborate both with other biological control workers and also with colleagues in population biology, spray technology, monitoring, and environmental impact. In general, communications seem adequate except for the area of virus research. The study at LFC (Valéro) is taking a different approach than that advocated by several pathologists at FPMI by conducting field trials of pathogens that have not been adequately characterized. The review committee is concerned that two such disparate attitudes exist within Forestry Canada, especially where the possibility of releasing unknown recombinants is concerned. We recommend that within Forestry Canada, there should be better coordination of research on biological control of spruce budworm with viruses (**Recommendation 10**). In particular, the study at LFC (Valéro) should take advantage of FPMI expertise to characterize the nature of their new viral entity before further field trials are carried out.

The feasibility study in Ontario of inundative releases of the egg parasitoid *Trichogramma*, has ended, and Forestry Canada must address the problem of future research on this parasitoid. There is still interest outside Forestry Canada in continuing experimental releases but Forestry Canada's role would be mostly financial. Rather than pursuing the policy of large-scale field releases, the review committee recommends that Forestry Canada support be limited to critical laboratory studies that aim to solve outstanding problems of production and the use of *Trichogramma* in specialized circumstances such as plantations (**Recommendation 11**).

Environmental Impact Research

Forestry Canada's Board of Directors did not endorse the recommendations of the 1979 Forestry Canada Budworm Research Task Force in the area of environmental impact, but responded by stating that environmental impact research was an area needing "in-depth study and policy development." These needs have not been met. We therefore recommend that a group with authority to develop a Forestry Canada policy on environmental impact research be established (**Recommendation 12**). Among the questions and issues this group should address are:

- Most monitoring programs cannot adequately deal with the potential cumulative environmental impact of annual spraying or with the secondary effects of short-term impacts on nontarget insects. Yet researchers show little sustained interest in measuring the cumulative effects of spraying, but seem to prefer basic ecological studies in the context of short-term environmental impact. Is the environmental impact of cumulative effects a Forestry Canada responsibility? If so, how is it best handled? Outside involvement is almost certainly needed.
- Should Forestry Canada be more involved in documenting the environmental consequences of the "no control" option? This information is required for a balanced assessment of the pros and cons of protection.

- Some other agencies believe that although Forestry Canada environmental impact data are sound, Forestry Canada is biased towards industry and spraying. However, one wonders whether the case for industry and spraying would be appropriately considered if Forestry Canada presented only its data without also offering any interpretation. This raises the question whether it should be industry itself, or some other agency, that presents the case for spraying. One alternative could be through a consortium (perhaps CPPA) involving the forestry constituency that organizes a coordinated approach. This would allow environmental impact research groups in Forestry Canada to concentrate on data generation and analysis.
- Should Forestry Canada play a role in educating the public about the benefits of forest protection under appropriate circumstances, and in particular, the alternative: what happens if we do not protect? If so, Forestry Canada could establish a small group to gather relevant facts about the benefits and costs of forest protection, and determine appropriate ways of presenting these facts to the public.
- Effort on budworm related environmental impact will likely shift towards *B.t.* as its usage becomes more prevalent. The *B.t.* environmental impact situation is now in a hiatus with public concern only starting. However, Forestry Canada cannot address many of the scientific concerns because it has no expertise in environmental impact of microbial organisms. If this area is important, expertise should be developed. There is evidence of an increasing provincial role, especially in Quebec, where MER is looking at *B.t.* accumulation in the soil and other forest substrates. We recommend that a federal provincial dialogue be conducted, to address the issue of environmental impact of biocontrol agents and allocate responsibilities among agencies.

Concern about off-target effects of budworm insecticides has recently been declining, for two reasons. First, formulations, dosages, and application methods have been refined to the point that environmental effects were widely considered tolerable by regulating agencies. Second, and partly because of this, environmentalists had largely shifted their attention to herbicides. However, issues such as the significance of songbird cholinesterase depression or pollinator mortality associated with operational fenitrothion use, which have been well documented for 5–10 years, may resurface as environmental agencies review how willing they are to accept these effects. It is not clear how concern about off-target effects of fenitrothion will influence Forestry Canada environmental impact research.

Product development in the future is likely to put more emphasis on predicting possible environmental impact. The first step will be to collect detailed information on the interactions between pesticides and organisms. After that, checks for effects on populations and impacts on basic ecological processes (for example, pollination, predation) will be required. Agriculture Canada is currently developing a comprehensive set of rules for environmental impact, to which Forestry Canada will have to adhere. This will put greater demands on Forestry Canada for environmental impact work.

Chapter 6. Future Pest Management in Budworm-Prone Forests: Development of an Integrated Forestry Canada Research Program

Forestry Canada spends a sizeable portion of its annual budget on spruce budworm research. The total 1987–88 resource allocations for the various studies in Tables 1–8 is more than 60 person-years and $390 000 O&M. The goal of this research is to develop the knowledge, forecasting and assessment methods, and population management techniques to allow forest managers to cope better with the recurring spruce budworm problem.

This report has examined spruce budworm research in each discipline, proposed future directions, and made recommendations. However, we have not dealt with what we believe to be an important missing component of the Forestry Canada budworm research program, **the need for organization of information into a form that is useable for forest management**. This will require integration of information and research projects across scientific disciplines. The need for this kind of integration is not unique to budworm research; it pervades many scientific research programs, because traditionally the nature of science has been specialization and the formation of strong disciplinary linkages. We need to develop mechanisms to encourage and strengthen cross-disciplinary linkages.

The aerial application of insecticides continues to be the only operational method for the suppression of budworm populations. Because of diminishing options, the future of aerial application of insecticides to combat budworm outbreaks is uncertain. There is a pressing need for fundamental research on new methods (aerially applied or otherwise) of controlling forest pests. The solutions will not be simple, most of the "easy" methods have already been tried. Forestry Canada should begin now to install a more comprehensive strategy for long-term management of forest stands and their inevitable infestation by budworm.

In this chapter, we propose two complementary approaches whereby Forestry Canada budworm research could better address the needs of forest managers:

1) **The development of a decision-support system for pest management**, which would permit the integration of existing budworm information and models into a system to assist forest managers in making management decisions, and also form a framework for coordinating specific research projects; and

2) **An experimental pest management approach** to the development and testing of new techniques for managing spruce budworm populations at various densities. This approach would involve the use of computer models to suggest pest management alternatives (for example pathogens, viruses, parasite enhancement, stand management, and combinations) and testing these techniques in the field.

How Can Forestry Canada Improve Technology Transfer?

There are three requirements for putting scientific information together in a form that enables forest managers to use it: **committment** of scientists to the production of results for clients, a clear **understanding** of the management problems, and appropriate **technology transfer**.

Based on our meetings in each establishment, we believe that there is a committment to user-oriented research goals. Most Forestry Canada scientists working on budworm view their research as contributing to solving, or at least allowing managers to better deal with, the budworm problem.

To attain a clear understanding of the management problems, we believe that it is critical that scientists involved in producing information for use by forest managers have contact with the eventual users during the formulation and execution of their research projects. There is enough of a difference in perspective that scientists working to produce a user-oriented model on their own will fail the majority of times. Appropriate contact between scientist and user is a simple concept, but more often than not, it does not occur.

Appropriate technology transfer really amounts to scientists presenting their results in a form that is most useful to forest managers. These activities may involve teaching the benefits of new methodology, and some salesmanship and skill in the presentation of new ideas. In many cases, this should be done by the scientists who conduct the research, as they have the best understanding of the results. But we recognize that scientists are not trained in technology transfer and may not be skilled at it, and Forestry Canada may have to develop alternative means of achieving transfer in some instances. To encourage scientists to become involved in technology transfer, Forestry Canada must change its attitude toward the value of these activities. Currently, published papers in refereed journals are the primary criterion for promotion, to the point that conducting technology transfer activities is seen as being counterproductive to advancement by many Forestry Canada scientists. Forestry Canada management must reward scientists in appraisals and promotions for successful technology transfer activities.

Production of User-Oriented Results

Forestry Canada can improve its production of user-oriented results by putting in place mechanisms to facilitate multidisciplinary collaboration in pest management research, and give this work a high priority. We suggest that two separate but complementary approaches should be taken, the development of a decision-support system for budworm and forest management and the use of experimental pest management to develop and test new budworm management techniques. Concepts of these two approaches are discussed below; they should both be developed as part of a coordinated research program.

Concepts of a Decision-Support System for Budworm Management

The establishment of an integrated Forestry Canada research program could be centered around the development of a decision-support system for resource management. Such a research program should emphasize a long-term view of budworm management (as opposed to the crisis-management approach used to date), using various control methods, some of which may have proven ineffective at high densities but may produce control at lower densities. The research program should also be designed to address the effects of combined interventions, and accommodate interventions with delayed or variable outcomes, such as stand structure modification or classical biological control. This decision-support system for pest management should be integrated with other forest management planning tools used for silviculture, harvesting, or reforestation. In addition, the system should be sufficiently flexible to accommodate new working hypotheses and research results. Finally, it should not only help organize research, but also coordinate technology transfer in spruce budworm management. A conceptual representation of such a system is shown in Figure 1. The various elements of this system could include data bases, various types of simulation models, decision criteria, and other aids such as data-base management or expert systems.

For such an integrated research program to address practical concerns of forest management, output should be compatible with Geographic Information System (GIS) technology. Geographic Information System is a generic term used for computer hardware and software systems that are specifically designed for storing, maintaining, analyzing, and displaying geographically referenced forest resource data. These systems make it possible to consider and manipulate data from each of thousands of individual stands in a management area in formulating a management or protection plan, and to retain the spatial location of each stand in the forest. GIS data bases currently being developed for use in many jurisdictions will include pertinent spatial information on each stand, as well as descriptive data on site-specific characteristics such as stand volume, species composition, maturity, topography, and soils. Decision-support systems for budworm and forest management should use these data and be compatible with this scale of management. Ultimately, a decision-support system will include forest management planning tools such as economic and other industry-related functions, in addition to growth and yield models of various types. These would be used to

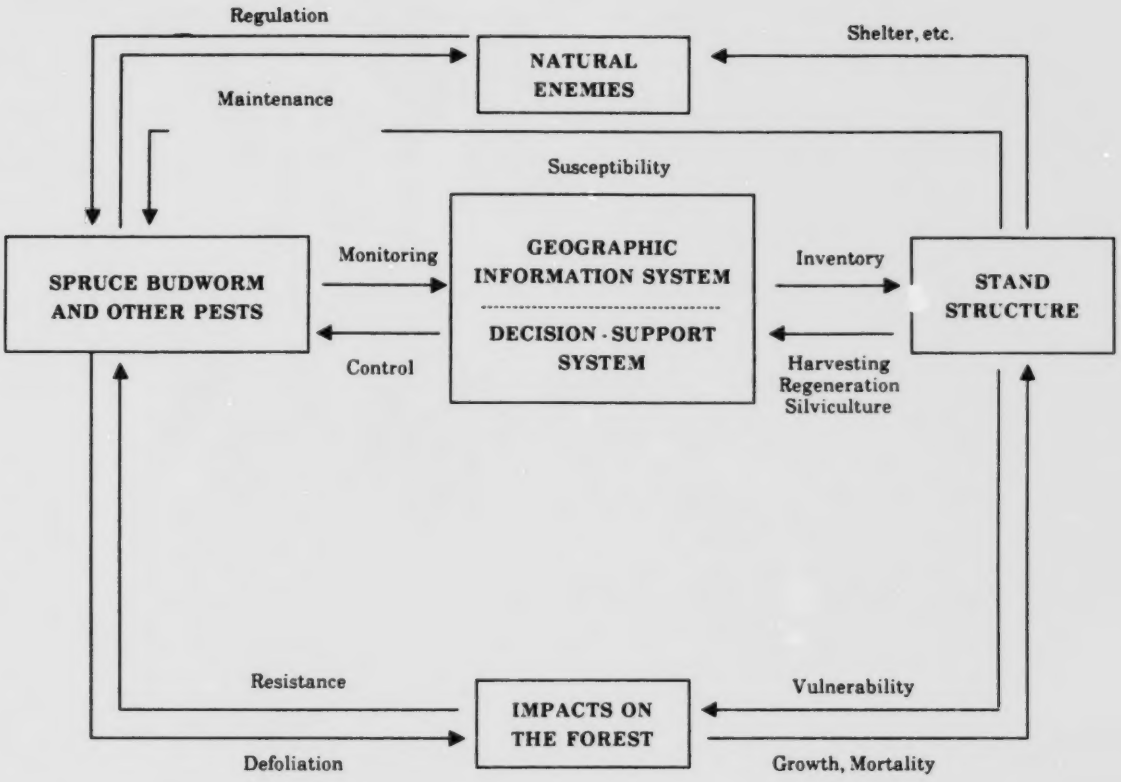


Figure 1. Conceptual framework for the development of a decision-support system for resource management in spruce budworm prone forests.

produce production forecasts, wood flow analyses, harvest schedules, and to update inventory data. The use of such GIS-based forest management systems is a provincial and industrial responsibility, but Forestry Canada should be involved in their design and construction.

Spruce budworm research results from the three major areas (impacts on the forest, control methods, and population biology) should be incorporated into such a planning system. From insect abundance, stand condition, and damage information generated by ground-based or remote-sensing survey operations, coupled with stand vulnerability indices, the expected impacts of spruce budworm defoliation on growth and yield could be considered in planning forestry or pest control operations. The strategy of control interventions against spruce budworm could be planned with the help of models forecasting long-term consequences, while tactical planning could include the use of detailed risk maps, and data on the relative efficacy, cost, and environmental impact of various direct control methods (chemical, biochemical, or biological). Assigning priorities for protection of various stands or stand types could be done based on their contribution to the future wood supply and their scheduled time of harvest. Various other aids, such as phenology simulators, could be included to assist in planning the details of control operations.

Consideration of other control strategies, such as facilitation of natural enemies or modification of stand susceptibility, requires consideration of basic processes in budworm population dynamics

(mortality, migration, reproduction). This is particularly true in terms of the effects of stand and site characteristics on the natural enemy complex and behavior of spruce budworm populations.

All areas of study covered in the present report can readily be assigned to one or more elements of such a decision-support system, with clearly defined interdependencies and hierarchial relationships to other aspects of the research program. In addition to forming an appropriate framework for research organization, a decision-support system will help define the nature and type of information needed, permit ready incorporation of new knowledge, and facilitate its transfer to clients. Furthermore, the development of this type of system should enhance closer contact with eventual users. Finally, it fosters the generation of new hypotheses and suggests experimental procedures to test them.

Obviously, developing decision-support systems for forest management is a large task and must include more than just pest management. This is an area of overlapping responsibilities: specific management decision making as well as the acquisition of GIS technology are clearly provincial or industrial responsibilities. We believe that the use of GIS and the development of models or systems to aid decision makers are inevitable, and that Forestry Canada should cooperate with provincial and industrial personnel in the development of such systems. Further, we believe that pest management should be integrated as a necessary component of forest management. Too often, forest protection, harvesting, and silviculture have been conducted separately with only loose contacts between them, rather than as truly integrated resource management.

Concepts of an Experimental Pest Management Approach

Apart from organizing and transferring existing information to users, there is also the question how to improve our understanding of the response of pest-forest systems to various management regimes. The traditional approach has been to invest more in basic research while controlling pests with insecticides to prevent resource destruction before the natural evolution of the system is better understood. Better comprehension is generally believed to be more detailed understanding of the components of the key system processes.

But how can this information be synthesized? Under a management regime that emphasizes pest control, we cannot make the observations or do the experiments necessary to forecast system behavior under all alternative approaches. However, on a small scale, we could use the management activities themselves as a tool for producing new and relevant information. In this manner, we could progress beyond always being forced to extrapolate from our understanding of component processes to forecast the effects of particular management regimes.

We believe that it is time to actively apply current knowledge to the problem of spruce budworm control through the process of experimental pest management. Such an approach is essentially one of "educated trial and error." Large-scale models, which synthesize component process models, would be used to forecast how the pest-forest system might respond to alternative management regimes, and thus aid in formulating the experimental management trials. In this sense, the models would help to provide educated guesses about promising management approaches. The experimental management trials would then provide a test of both our educated guesses and the way we have synthesized component processes. An inductive approach (hypothesis generation followed by testing in field experiments) could be used, for example, to determine the stand factors that influence budworm populations and that might result in reduced susceptibility and vulnerability.

Experimental management should be performed on a scale small enough that potential costs are limited if the management regime proves unsuccessful, yet large enough to provide a fair test of efficacy under operational conditions. The approach would be to identify plots where various control options and stand treatments aimed at preventing severe budworm outbreaks could be applied singly or in combination, together with suitable untreated plots, under various levels of budworm infestation and stand structure. Some control options would necessarily be aimed at high-value stands, plantations, recreation areas, etc., rather than the whole forest.

An experimental pest management program would not only provide a forum within which researchers could test their ideas, but would establish a working demonstration of how research on control can be effectively integrated into a management program for the spruce budworm.

Where Do We Go from Here? Implementation of an Integrated Budworm Research Program

We have purposely limited our discussion of a decision-support system for budworm management and of experimental pest management to the conceptual level. It is the role of Forestry Canada scientists who will be involved in this work to develop specific research plans. However, we do have several comments about the implementation of an integrated budworm research program.

We believe that working groups can form the primary mechanism for coordinating research within a discipline (between establishments) and between disciplines. Working groups are discussed in more detail in Chapter 7. Forestry Canada has existing spruce budworm ecology, biological control, and modeling working groups, and we have specifically recommended formation of impact and pheromone control working groups (**Recommendations 4 and 8**). Scientists in these groups should adopt or define goals for research in their particular discipline, and establish collaborative research projects to attain those goals. The key is for scientists to adopt goals of the overall Forestry Canada research program as goals for their individual studies.

Regarding the development of a decision-support system and the experimental pest management approach, it will be necessary to assemble groups of scientists interested in and committed to pursuing these approaches, to the point of reorienting their research programs. It is critical that these groups consist of scientists from a variety of disciplines. Scientist involvement should be voluntary as much as possible. A small, enthusiastic, dedicated group working to produce something that they believe is important will be more productive than a large group into which people are involuntarily slotted. We recommend that Forestry Canada form a goal-oriented working group to pursue the development of a decision-support system for budworm management and an experimental pest management program (**Recommendation 13**). Separate working groups for each of these projects may eventually be warranted. Further, we recommend that a meeting of a small group of Forestry Canada scientists be convened by R.A. Fleming and J. Régnière to plan how meetings of the budworm related working groups can be used to present concepts of these approaches to Forestry Canada scientists and to get interested and committed scientists together to develop a more concrete research plan.

Both of these proposed approaches will require Forestry Canada to cooperate with provincial and industrial agencies. Development of a decision-support system for budworm management should proceed as a test case with one or more user agencies. It must build on the current status of forest management planning in that particular region, and implementation will vary regionally. Further, work on a decision-support system for budworm management should be tied in closely with PNFI efforts on the development of decision-support systems for forest management.

Chapter 7. General Issues and Recommendations

General Issues and Concerns

Several general issues or concerns came to light during our discussions with scientists that were not specific to individual disciplines, but cut across disciplines and establishments. These are discussed now.

Staffing and Redirection of Research

Major changes in research direction occur because of the retirement of existing staff and the hiring of new staff, and in fact, this represents the best opportunity for redirection of research. In the past, hiring has been at the discretion of the individual research establishments, and often occurs quickly with little scientist input. There should be more coordination of hiring research staff between establishments and more consideration of the overall research priorities in Forestry Canada during staffing actions (**Recommendation 14**). Working groups may represent a good avenue for getting scientist input into research and staffing priorities. If the Forestry Canada research program is to be truly coordinated, then more consideration must be given to priorities within the overall program when vacancies occur.

Inherent in any research planning exercise is the supposition that the direction of research can be changed or redirected. Established scientists vary in their susceptibility to this, but at best the changes are likely to be small. Certainly the optimum course is to have scientists adopt changes of direction in their research studies voluntarily, and with enthusiasm, rather than being directed to do something for which they do not see the need. Participation of scientists in active working groups, in which they adopt group goals as goals within their own studies, as well as coordinate work between establishments, should help. Also, we believe that allocation of resources among research studies can be a powerful inducement for changing directions.

We recognize that local research priorities change over time, and that changes in research direction are required. However, research managers should consider the timing of such changes, relative to completion of the current studies. In general, whenever local priorities permit, Forestry Canada researchers should be encouraged to complete and publish studies in which they (and Forestry Canada) have a considerable investment, before being moved to work on other subjects.

In addition, if management of Forestry Canada accepts particular goals as targets for the Forestry Canada research program, mechanisms must be put in place to (1) ensure that these targets are also accepted by individual scientists as the goals for their particular research studies, (2) facilitate collaborative work to attain these goals, and (3) allow the evaluation of progress towards these goals. We feel that a working group structure would be an appropriate mechanism. In the case of the 1979 Forestry Canada task force goals, it seems that the implementation team (research managers) adopted the goals and implemented an activity structure to review research and prepare annual reports, but in many cases the goals did not get down to the working level of the individual scientist's study statements. It is truly surprising how many budworm scientists in Forestry Canada do not know that the 1979 Forestry Canada budworm task force report exists and contains goals that were supposed to be guiding Forestry Canada budworm research.

Working Groups and Improvement of Communication Among Scientists

Poor communication among budworm researchers in different establishments, in different disciplines, and sometimes within an establishment were recurring themes in most of our discussions with scientists. The Forestry Canada Spruce Budworm Ecology Working Group was one exception, where researchers in each of the eastern Forestry Canada regions hold an annual meeting to improve

collaboration and discuss methodology and results. One of the major advantages of the CANUSA Program was the opportunity for scientists to periodically meet with colleagues and discuss methodology, progress, etc. Mechanisms must be put in place to improve communication and coordination between scientists in the same discipline but in different establishments, and between scientists in different disciplines (for example, population biology, impact, control). Fostering cross-discipline communication is more difficult to achieve.

We recommend that informal working groups of Forestry Canada scientists working on similar subjects be established to improve communication among scientists and help foster collaborative research projects (**Recommendation 15**). These groups should include appropriate scientists from all Forestry Canada establishments. Working groups would also be useful forums for discussing research priorities and methodology, for coordinating work to attain particular goals, and for identifying research needs and priorities. The Spruce Budworm Ecology Working Group is such a group; we have specifically recommended the establishment of similar discipline-oriented working groups for impact and pheromone control (**Recommendations 4 and 8**) and a group for budworm control scientists would also be warranted. We envisage these working groups as informal groups of Forestry Canada scientists in a particular discipline area that meet annually to enhance communication and coordination among researchers. We have also recommended the formation of a goal-oriented working group to pursue development of a decision-support system for budworm management and an experimental pest management program (**Recommendation 13**). Goal-oriented working groups will vary in size and make-up and should be expected to form and disband as required. This would serve as an excellent means for small, temporary groupings of scientists to collaborate in achieving specific targets in a particular area, for example, improvement of spruce sampling methodology or L2/defoliation forecasts. We do not believe that working groups should be required to submit annual reports to CORE or Forestry Canada HQ, although the avenue should be open for groups to make recommendations to CORE, as required. However, once cooperative studies are put in place, as in the goal-oriented working groups, there should be regular reporting to CORE of progress towards established goals.

Before CANUSA, spruce budworm researchers met annually to present and discuss their research, which was summarized in a red folder, hence the title "red book meetings." These were supplanted during the CANUSA years by workshops and symposia and the production of a quarterly "Newsletter." Since the end of CANUSA, there has been a void in Canada of both recognized annual budworm meetings and of a newsletter. There is therefore a question whether annual meetings and newsletters are worthwhile, and if so, what form they should take. We believe that periodic general meetings would be valuable if set up appropriately. Annual meetings are probably too frequent and we suggest biennial meetings where the working groups meet concurrently, with part of the program disciplinary and part multidisciplinary. Rather than create a new structure, we suggest that this could be done in conjunction with the Eastern Spruce Budworm Research Work Conference, an annual meeting begun in Maine in the late 1970s.

To determine the desirability of a newsletter, we canvased Forestry Canada and U.S. researchers and found them evenly divided. This suggests that some form of newsletter is worth attempting, providing that someone is willing to produce it. Logically this should be an entomological coordinator at Forestry Canada HQ, but until such a position is filled, we suggest the following compromise. A brief summary of the proceedings of each Eastern Spruce Budworm Research Work Conference should be produced by the establishment organizing the meeting. This would include summaries of the papers presented and items of interest such as current defoliation maps and reports on issues of topical interest.

One further issue remains, the fate of the spruce budworm bibliography. This is a computerized bibliography compiled by the U.S. Forest Service during the CANUSA years. At the end of CANUSA, it was agreed that Canada would compile it, but this has not yet occurred. Again this is logically a role for a coordinator in Forestry Canada HQ. We therefore recommend that Forestry Canada HQ obtain the spruce budworm bibliography from the U.S. Forest Service, ensure that it is available for all to use, and provide the resources to maintain it (**Recommendation 16**).

Value of PDFs and University Collaboration

In most meetings of the review committee with scientists, there were unsolicited expressions of concern that current government policy restricts the opportunities for Forestry Canada establishments to obtain postdoctoral fellows and also to obtain research contracts with Canadian universities, as was the case under the PRUF program. The lack of scholarship support for involving graduate students in work with the many Forestry Canada researchers who are affiliated with a graduate school was also identified as a problem. PDFs and university collaboration are valuable mechanisms to obtain expertise in needed areas and to respond to specific short-term needs. In the Forestry Canada budworm research program, useful work has been done by PDFs Strongman (Forestry Canada — Maritimes), Prévost (LFC), and Gringorten (FPMI) and yet opportunities for PDFs in Forestry Canada have been curtailed. We therefore recommend that Forestry Canada address the problem of lack of financing for postdoctoral fellowships, graduate scholarships, and university research contracts (**Recommendation 17**). Without the opportunity to recruit or contract expertise for special programs, Forestry Canada cannot remain a strong influence in forestry research.

List of Recommendations

We have made a total of 17 recommendations in this report, regarding a wide variety of issues or concerns, priorities, future directions for research, etc. The recommendations were numbered sequentially throughout the report, and thus **Recommendations 1–3** dealt with budworm population biology, **4–6** with budworm impact on the forest, **7–12** with budworm control, and **13–17** with general issues. The recommendations follow:

Recommendation 1. The role of FIDS in budworm surveys should be clearly defined for each region. FIDS involvement in methodological research is encouraged, in such areas as spruce sampling methodology and L2/defoliation forecasts.

Recommendation 2. Two issues in remote sensing should be addressed by CORE, the need for entomological input into the development of remote sensing techniques for damage assessment, and the degree of Forestry Canada involvement in production of the proposed forestry MEIS scanner. We recommend support for the production and testing of filter sets for the MEIS scanner.

Recommendation 3. Resources allocated to spruce budworm population dynamics research in Forestry Canada should be maintained during the low-density period.

Recommendation 4. A Forestry Canada working group on impact (damage appraisal) should be established including researchers from each region.

Recommendation 5. The role of Forestry Canada in determining depletions caused by insects and disease should be clarified for each region.

Recommendation 6. NeFC should provide the necessary resources to studies NE-2711 (Raske and Dobesberger) and NE-2714 (Meades) to complete planned remeasurement and analysis of existing sample plots as soon as possible.

Recommendation 7. Forestry Canada should address the issue of whether government should get involved in the development or industrial production of desirable insecticidal materials that have limited demand.

Recommendation 8. An informal pheromone control working group should be established to coordinate both lab and field work on this subject.

Recommendation 9. Forestry Canada should actively search for natural enemies of the spruce budworm abroad, including continued funding of the CIBC Delemont Field Station.

Recommendation 10. Within Forestry Canada, there should be better coordination of research on biological control of spruce budworm with viruses. In particular, the study at LFC (Valéro) should take advantage of FPMI expertise to characterize the nature of their new viral entity before further field trials are carried out.

Recommendation 11. Rather than pursuing the policy of large-scale field releases of *Trichogramma*, Forestry Canada support should be limited to critical laboratory studies.

Recommendation 12. The role of Forestry Canada in environmental impact research should be defined.

Recommendation 13. Forestry Canada should form a goal-oriented working group, to pursue the development of a decision-support system for budworm management and an experimental pest management program.

Recommendation 14. There should be more coordination in hiring of research staff between establishments and more consideration of the overall research priorities in Forestry Canada during staffing actions.

Recommendation 15. Informal working groups of Forestry Canada scientists should be established to improve communication, foster collaborative research projects, and discuss research priorities and methodology.

Recommendation 16. Forestry Canada HQ should obtain the spruce budworm bibliography from the U.S. Forest Service, ensure that it is available for all to use, and provide the resources to maintain it.

Recommendation 17. Forestry Canada should address the problem of lack of financing for postdoctoral fellowships, graduate scholarships, and university research contracts.

A Final Note

We would like to acknowledge the contributions of all Forestry Canada scientists involved in spruce budworm research, for meeting with us at the various establishments, expressing their ideas and opinions, and helping us to complete our task. Ultimately it is these scientists, and not task forces, review committees, or working groups, who are the most important in planning and executing spruce budworm research. We hope that our efforts will assist the Forestry Canada budworm research program to progress towards its ultimate goal of developing the knowledge, forecasting and assessment methods, and population management techniques to allow forest managers to cope better with the spruce budworm problem.

Appendix A. Research Goals Identified by 1979 Task Force for Review of Forestry Canada Spruce Budworm Research

Ten research goals were identified by the 1979 Task Force for the Review of Forestry Canada Spruce Budworm Research. The review committee feels that these are still valid goals for guiding Forestry Canada budworm research. The 10 goals were as follows:

1) To devise rules combining spruce budworm abundance and its impact on the host trees, compatible with provincial inventory/management systems, which will allow the forest manager to predict annually within his operational unit the amount and location of tree mortality for 5 years.

2) To determine how, and within what time periods, the use of budworm-killed trees affects the quality, quantity, and value of the product from the mill.

3) To define fire behavior in budworm-damaged stands so that the provincial fire managers can allocate their resources accordingly.

4) Using provincial forest data to provide methods by which forest managers can forecast wood production, as it is influenced by the spruce budworm, for up to 10 years ahead.

5) To define stand characteristics (for example, stand composition, age-class distribution, tree spacing, site and topography) relevant to forest management actions (harvesting, natural and artificial regeneration) that will make budworm outbreaks less likely to occur (less susceptible stand), or if they do occur, what will minimize damage (less vulnerable stand).

6) To cooperate with the provincial forest agencies in building models for the design and evaluation of alternative strategies for dealing with the spruce budworm/forest problem.

7) To devise methods to increase the effectiveness and reduce the risks of using currently registered insecticides.

8) To evaluate and develop for operational use new agents for protecting foliage in the year of application.

9) To evaluate and develop for operational use new agents for manipulating budworm numbers that have potential application in strategies other than foliage protection.

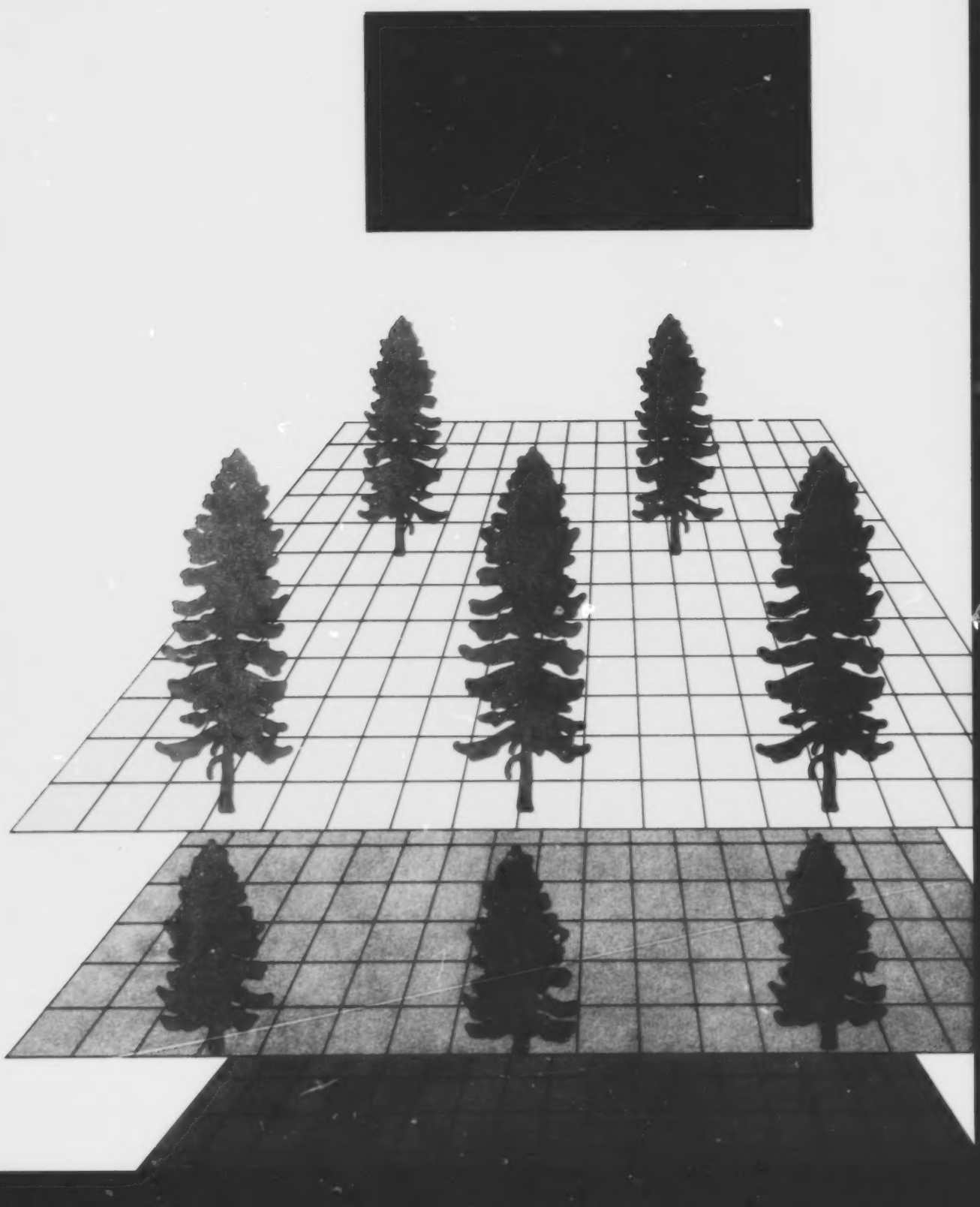
10) (a) To collate data on the risks associated with the use of new or modified agents necessary for their registration.

(b) In cooperation with other agencies, to provide and continually refine methodologies and protocols for the environmental impact assessment of operational control programs.

(c) In cooperation with other agencies, to determine the causes or unexpected environmental impacts of control operations as they are identified by routine environmental monitoring.

Forêts Canada
Forestry Canada

Canada



État actuel et orientations futures projetées de la recherche sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette de Forêts Canada

Rapport du Comité d'examen de la recherche de Forêts Canada
sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette

D.A. MacLean, R.A. Fleming, V.G. Nealis, J. Régnière et C.J. Sanders

Novembre 1987

Résumé à l'intention de la direction

Le Comité d'examen a rencontré plus d'une soixantaine de chercheurs et d'aménagistes, tant Service canadien des forêts (SCF), désormais appelé Forêts Canada, que de l'extérieur, pour étudier les activités actuelles de recherche et examiner les orientations futures à lui donner. À la suite de ces entretiens, le Comité a identifié des secteurs de préoccupation et formulé des suggestions et des recommandations quant aux mesures administratives à prendre.

Dans le cadre de cet exercice, la recherche a été divisée en trois secteurs principaux: la biologie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette, l'impact de la tordeuse sur la forêt et la lutte contre cet insecte. La biologie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette a été divisée en deux sous-secteurs, soit la surveillance et la biologie des populations (qui comprenaient la dynamique des populations et la biologie de la tordeuse et des organismes associés). La lutte contre l'insecte se divisait en lutte chimique, lutte biochimique et lutte biologique. Les ressources allouées cette année à chacun de ces trois secteurs se répartissent comme suit:

Sujet	Nombre d'études	Années-personnes		Budget de F&E ($)
		Permanentes	Occasionnelles	
Impact sur la forêt	11	11,0	3,5	66 000
Lutte contre la tordeuse				
- chimique	2	3,0	1,0	36 000
- biochimique	3	1,2	0,6	8 000
- biologique	13	9,5	3,2	49 000
- application d'insecticide	15	7,7	3,2	54 000
- impact sur l'environnement	10	9,6	0,9	32000
Total des activités de lutte contre la tordeuse	43	31,0	8,9	179 000
Surveillance des populations	10	3,0	1,3	37 000
Biologie des populations	22	18,8	6,3	113 000
Total	86	63,8	20,0	395 000

Il est essentiel de bien comprendre la biologie et la dynamique des populations de la tordeuse pour prévoir les infestations, pour établir la sensibilité des peuplements et pour réussir à les réprimer. À l'heure actuelle, la recherche est menée de façon rigoureuse et est bien coordonnée. L'étude des populations peu denses posera toutefois des problèmes particuliers, et il est important que les ressources restent au moins au niveau actuel tout au long du déclin des densités de population. Plusieurs besoins ont été identifiés en matière de recherche sur la surveillance des populations, et il est recommandé que le rôle du Relevé des insectes et des maladies des arbres (RIMA) à cet égard soit élargi.

Les Maritimes sont le point de mire de la recherche sur l'impact de la tordeuse car le «besoin» s'y est fait nettement sentir. Le Comité recommande qu'un groupe de travail sur l'impact soit créé pour élaborer et intégrer la recherche à cet effet de l'ensemble de Forêts Canada.

Le Comité considère que la distinction entre la lutte chimique et la lutte biologique est en grande partie artificielle, mais a toutefois conservé cette distinction parce que ces termes sont généralement acceptés de tous. L'accent sera davantage mis sur la lutte biologique (surtout sur le *Bacillus thuringiensis*[*B.t.*] à ce moment-ci), et les activités de recherche en feront foi. La nécessité de mettre au point d'autres méthodes de lutte non chimique, y compris l'amélioration et l'introduction de parasites, et d'examiner leurs rôles dans un système intégré de répression des ravageurs se fait toutefois sentir. Pour y arriver, le Comité recommande que Forêts Canada procède à des essais de répression qui permettraient à la fois de mettre à l'épreuve et de démontrer le potentiel des autres stratégies de lutte. La modélisation devrait être utilisée pour prévoir la façon dont le système ravageur-forêt pourrait réagir à d'autres régimes de répression et ainsi aider à formuler les essais en ce sens.

Le transfert des résultats de recherche aux programmes opérationnels d'aménagement forestier a été identifié comme une importante faiblesse de l'actuel programme de recherche. Pour le faciliter, le Comité recommande que Forêts Canada élabore des systèmes d'aide à la décision pour la répression de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Ces systèmes devraient être étroitement liés aux techniques d'aménagement forestier provinciales et devraient prendre en compte la nouvelle technologie, comme la télédétection et les systèmes d'information géographique, et les résultats des essais d'aménagement. Cette approche exige la création de groupes de travail interdisciplinaires à objectif qui permettrait également d'intégrer et de coordonner la recherche de Forêts Canada sur la tordeuse pour qu'elle ait un objectif commun.

Table des matières

	Page
Résumé à l'intention de la direction	ii
Chapitre 1. Introduction	1
Chapitre 2. Examens antérieurs et coordination de la recherche sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette	3
Le Groupe d'étude de la recherche de Forêts Canada sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette de 1979	3
Le programme CANUSA	4
Les leçons de l'expérience	5
Chapitre 3. Recherche sur la biologie des populations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette	6
Introduction	6
Historique - Théories de la dynamique des populations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette	7
État actuel de la recherche sur la biologie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette	8
Surveillance des populations	8
Échantillonnage des populations	9
Piégeage aux phéromones	9
Télédétection	9
Études sur la dynamique des populations (survivants)	11
Nouveau-Brunswick	12
Ontario	13
Québec	13
Terre-Neuve	13
Biologie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette	13
Physiologie du développement	13
Taxinomie	14
Comportement	14
Interactions avec la plante-hôte	14
Biologie des organismes associés	14
Parasites	14
Prédateurs	14
Pathogènes	15
Examen des questions et des préoccupations	15
A. Surveillance des populations	15
B. Groupe d'étude de l'écologie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette	16
C. Études sur la dynamique des populations	16
D. Biologie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette et des organismes associés	17

Chapitre 4. Recherche sur l'impact de la tordeuse des bourgeons de l'épinette 18

Introduction 18
État actuel de la recherche sur l'impact de la tordeuse des bourgeons de l'épinette 19
Impact sur la croissance et le rendement des forêts 19
Impact sur la régénération et la succession végétale 21
Études de la détérioration, des déprédateurs secondaires et des maladies 21

Examens des questions et des préoccupations 22
A. Importance de la recherche sur les différents types d'impact 22
B. Coordination de la recherche de Forêts Canada sur les différents types d'impact 22
C. Création d'un réseau de parcelles d'étude d'impact de Forêts Canada 23
D. Orientations futures de la recherche sur les différents types d'impact 23
E. Ressources nécessaires à l'achèvement des études d'impact du Centre de foresterie de Terre-Neuve 24
F. Impact sur la régénération et la succession végétale 24

Chapitre 5. Recherche sur la lutte contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette 25

Introduction 25
Recherche sur la lutte chimique contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette 26
Historique 26
État actuel de la recherche sur la lutte chimique 26
Recherche sur la lutte biochimique contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette 26
Historique 26
État actuel de la recherche sur la lutte biochimique 26
Recherche sur la lutte biologique contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette 28
Historique 28
État actuel de la recherche sur la lutte biologique 29
B.t. 29
Champignons 29
Protozoaires 31
Virus 31
Nématodes 31
Prédateurs et parasites 32
Recherche sur les techniques d'application des insecticides 33
Historique 33
État actuel de la recherche sur les techniques d'application 33
Recherche sur l'impact environnemental de la tordeuse des bourgeons de l'épinette 35
Historique 35
État actuel de la recherche sur l'impact environnemental 36
Examen des questions et des préoccupations 38
A. Utilisation de produits chimiques pour la protection des forêts 38
B. Recherche sur la lutte biochimique 39
C. Recherche sur la lutte biologique 39
D. Recherche sur l'impact environnemental 40

Chapitre 6. Activités futures de répression des ravageurs dans les forêts sensibles à la tordeuse des bourgeons de l'épinette: élaboration d'un programme intégré de recherche de Forêts Canada 42

Comment Forêts canada peut-il améliorer le transfert de la technologie? 42
L'obtention et la publication de résultats destinés aux utilisateurs 43
Concepts de systèmes d'aide à la prise de décisions relatives à la répression de la tordeuse des bourgeons de l'épinette 43
Concepts d'une approche expérimentale à la répression des ravageurs 46
Orientations futures: mise en application d'un programme intégré de recherche sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette 47

Chapitre 7. Questions et recommandations d'ordre général 48

A. Dotation en personnel et réorientation des activités de recherche 48
B. Groupes de travail et amélioration de la communication entre les chercheurs 48
C. Valeur des bourses de recherches postdoctorales, de la collaboration avec les universités 50
Liste de recommandations 50
Le mot de la fin 52

Annexe A. Objectifs de la recherche identifiés par le Groupe d'étude de la recherche de Forêts Canada sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette de 1979 53

Chapitre 1. Introduction

La tordeuse des bourgeons de l'épinette représente l'un des plus sérieux problèmes pour l'aménagement forestier dans une grande partie de l'est de l'Amérique du Nord. En défoliant les arbres, les larves de la tordeuse enlèvent une partie de l' «usine de photosynthèse» de même que des zones où les produits chimiques tels que les hormones de croissance sont fabriqués; cela affecte plusieurs fonctions vitales. La défoliation se traduit par la perte de la production de bois, la mort de l'arbre et la diminution du rendement en bois d'œuvre des peuplements. Cela peut perturber sérieusement les approvisionnements en bois d'œuvre qui assurent la suvie du secteur dépendant de la forêt. La structure d'âge de la forêt actuelle et les dommages causés par la tordeuse sont la source de l'inquiétude qui affecte présentement les organismes-clients à propos des approvisionnements en bois à long terme au Nouveau-Brunswick, en Colombie-Britannique et dans d'autres régions.

Les impacts économiques résultant des infestations de la tordeuse touchent des millions d'hectares de forêt au Canada. Ces infestations se sont produites au XX^{e} siècle en 1910, 1940 et 1970. Environ 770 millions de mètres cubes de sapin baumier et d'épinette, soit de 40 à 50 % du volume de l'arbre-hôte présent, ont été détruits dans l'est du Canada au cours de l'infestation qui a duré de 1910 à 1920, la dernière à survenir sans qu'aucune mesure de répression soit pratiquée. La plus récente infestation a touché environ 57 millions d'hectares de terre forestière dans l'est du Canada et des États-Unis, et en 1981 environ 23 millions d'hectares contenaient d'importants volumes de bois mort ou en train de mourir. D'après une estimation de Forêts Canada de l'impact des insectes et des maladies sur les ressources forestières du Canada, couvrant la période de 1977 à 1981, 107 millions de mètres cubes de bois ont été perdus chaque année, dont 41 % sont attribuables à la tordeuse. Les populations de tordeuses ont pu diminuer au cours des dernières années, mais environ 12,4 millions d'hectares de forêt au Canada ont subi une défoliation allant de modérée à sévère en 1986.

En novembre 1986, le Comité des établissements de recherche (CORE) de Forêts Canada demandait que soit effectué un examen de la recherche sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette menée par Forêts Canada. Un comité d'examen a été choisi et il se composait de D.A. MacLean (Forêts Canada–Maritimes) agissant comme président, J. Régnière, Centre de foresterie des Laurentides (CFL), V.G. Nealis, Centre de foresterie des Grands Lacs (CFGL), R.A. Fleming, Institut pour la répression des ravageurs forestiers (IRRF) et C.J. Sanders, agissant à titre de conseiller de l'administration centrale de Forêts Canada.

Cet exercice avait un double but: il visait tout d'abord à évaluer l'état actuel de la recherche sur la dynamique des populations de la tordeuse pour s'assurer qu'on ne raterait aucune occasion en 1987 de découvrir les facteurs affectant les modifications de population et, en deuxième lieu, à effectuer un examen en profondeur du programme de recherche de Forêts Canada sur la tordeuse en vue d'identifier et de coordonner les besoins futurs en matière de recherche.

Le mandat du Comité d'examen était le suivant:

(1) Examiner uniquement la recherche se rapportant à la tordeuse des bourgeons de l'épinette(*Choristoneura fumiferana* [Clem.])

(2) Effectuer un examen essentiellement «interne». Le Comité n'a pas rencontré d'«utilisateurs» mais a tenu compte des besoins des utilisateurs identifiés dans le rapport du Groupe d'étude de la recherche de Forêts Canada sur la tordeuse de 1979.

(3) Cet examen a donné lieu à la publication de deux documents:

(i) Un résumé de la recherche de Forêts Canada sur la dynamique des populations de la tordeuse. Ce rapport, intitulé «Spruce Budworm Population Dynamics Research in CFS: Current Status, Goals and Opportunities», a été présenté au CORE en mars 1987. Il faisait la synthèse des travaux antérieurs effectués sur la dynamique des populations de la tordeuse, de leur déroulement, des plans actuels, des objectifs pour 1987-1988, des ressources exigées et des possibilités.

(ii) Un examen en profondeur de la recherche de Forêts Canada sur la tordeuse. C'est ce que vous offre le présent rapport qui résumera les résultats des travaux antérieurs (y compris l'examen du Groupe d'étude de Forêts Canada sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette de 1979 et le programme CANUSA), donnera un compte rendu de l'état actuel de la recherche sur la tordeuse effectuée par Forêts Canada et tentera de cerner les besoins futurs et les problèmes de la recherche.

Lors de l'examen, le Comité a rencontré plus d'une soixantaine de chercheurs et de gestionnaires de la recherche, tant de Forêts Canada que de l'extérieur. Nous avons échangé avec les chercheurs des cinq établissements de recherche de Forêts Canada, soit le CFGL, l'IRRF, le CFL, Forêts Canada–Maritimes et le Centre de foresterie de Terre-Neuve (CFT-N). Nous avons également rencontré des représentants d'organismes de l'extérieur de Forêts Canada qui participent à la recherche sur la tordeuse: le Groupe de recherche sur l'efficacité des pulvérisations du Nouveau-Brunswick, le Conseil de la recherche et de la productivité du Nouveau-Brunswick et le USDA Forest Service d'Orono, dans le Maine. Bien que le Comité ne se soit pas rendu au Centre de foresterie du Nord (CFN), nous avons reçu des renseignements détaillés sur les orientations et priorités actuelles et futures projetées de la recherche sur la tordeuse. Nous avons reçu une excellente collaboration des chercheurs et des gestionnaires des divers établissements qui nous ont aidés à mener à bien notre tâche.

Ce rapport se compose de sept chapitres. Le chapitre 2, qui suit l'introduction, décrit les deux tentatives effectuées précédemment pour organiser et coordonner la recherche sur la tordeuse au cours des 10 dernières années et les leçons tirées de ces expériences. Les chapitres 3, 4 et 5 présentent nos constatations relatives à la recherche sur la tordeuse effectuée à Forêts Canada dans trois grandes disciplines: la biologie des populations (y compris la surveillance), l'impact sur la forêt et la lutte contre la tordeuse. Chacun de ces chapitres comporte une description de l'état actuel de la recherche de Forêts Canada dans ce domaine, traite des questions et des préoccupations et propose des orientations futures de la recherche et des solutions aux problèmes perçus. Le chapitre 6 propose et examine une approche intégrée à la répression des ravageurs dans les forêts sensibles à la tordeuse et le rôle que devrait jouer Forêts Canada dans l'élaboration d'une telle approche. Le chapitre 7 présente des questions et des préoccupations d'ordre général qui n'ont cessé de faire surface lors des discussions avec les chercheurs et il résume également nos recommandations quant à la recherche de Forêts Canada sur la tordeuse.

Les chercheurs des différents établissements s'entendaient généralement quant aux orientations futures de la recherche, et le présent rapport est fait en grande partie la synthèse des renseignements et des opinions présentés par ces chercheurs.

Chapitre 2. Examens antérieurs et coordination de la recherche sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette

Au cours des 10 dernières années, on a tenté à deux reprises d'organiser et de coordonner la recherche sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette avec le Groupe d'étude de la recherche de Forêts Canada sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette de 1979 et le programme Canada–États-Unis sur les tordeuses des bourgeons de l'épinette (CANUSA). Avant d'entreprendre un autre examen, il convient peut-être de se demander quel degré de réussite ont eu ces deux tentatives et les leçons à en tirer.

Le Groupe d'étude de la recherche de Forêts Canada sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette de 1979

Lors de la rencontre de l'Unité de planification conjointe du Programme Canada–États-Unis sur les tordeuses des bourgeons de l'épinette en mars 1978, les participants américains ont demandé aux Canadiens de leur suggérer de nouveaux domaines de recherche que le programme américain pourrait étudier en priorité. Les participants canadiens, tout en ayant suggéré certains sujets auxquels il convenait d'accorder immédiatement la priorité, se rendaient compte que le programme de recherche du Canada devrait être réexaminé tant au niveau de la portée du programme CANUSA qu'à celui de l'évolution des exigences des principaux clients de la recherche sur la tordeuse au Canada. Par conséquent, un Groupe d'étude était nommé pour entreprendre un examen du programme et déterminer les besoins futurs de la recherche dans l'est du Canada. Le Groupe d'étude était dirigé au départ par G.L. Baskerville, et C.J. Sanders a par la suite été nommé président.

L'approche adoptée par le Groupe d'étude consistait à faire converger la recherche de façon à fournir aux aménagistes forestiers les renseignements nécessaires pour faire face à la tordeuse. Le Groupe d'étude a tout d'abord discuté du problème de la tordeuse avec les aménagistes de chacune des six provinces de l'Est afin d'identifier les problèmes. Il a ensuite formulé 10 objectifs de recherche (annexe A) qui, s'ils étaient atteints, pourraient permettre aux aménagistes de mieux faire face à ce problème. En troisième lieu, il a discuté de ces objectifs avec les chercheurs de Forêts Canada afin d'identifier la recherche nécessaire pour atteindre les objectifs. Le Groupe d'étude a finalement formulé des recommandations sur la politique de Forêts Canada, l'embauche de personnel et l'orientation de la recherche et proposé un cadre organisationnel destiné à orienter la recherche afin d'atteindre ces objectifs.

Le Comité directeur de Forêts Canada approuvait les recommandations du Groupe d'étude le 30 mai 1979, à l'exception des recommandations concernant la réglementation des pesticides et l'impact environnemental. Le Comité nommait également une équipe de mise en œuvre composée principalement de gestionnaires de la recherche afin d'élaborer un plan approprié. Le Groupe d'étude proposait que les chercheurs soient réunis par groupes de travail à objectif commun pour identifier la recherche nécessaire pour atteindre les 10 objectifs établis par le Groupe d'étude et que les chercheurs orientent ensuite eux-mêmes la majeure partie de leurs propres recherches pour fournir l'information nécessaire. Ce n'est toutefois pas ce qui s'est produit. L'équipe de mise en œuvre a tout d'abord entrepris de réorganiser les objectifs du Groupe d'étude en «activités» dont les objectifs étaient déterminés selon les spécialités des disciplines traditionnelles. Un chef a été nommé pour chacune des activités, et toutes les activités alors en cours ont été réparties dans une activité. Les chefs devaient examiner les recherches effectuées dans leur secteur d'activité, donner suite aux recommandations du Groupe d'étude et préparer des rapport annuels résumant l'avancement des travaux. Cette façon de procéder a été utilisée avec plus ou moins de rigueur de 1978 à 1984, la période du programme CANUSA.

La répartition de la recherche dans des activités spécialisées selon les disciplines plutôt que par groupes de travail spécialisé a fait perdre de vue les objectifs que le groupe d'étude avait préconisés.

C'est pourquoi il est difficile d'évaluer dans quelle mesure les objectifs du Groupe d'étude ont été atteints. Dans certains domaines, ses recommandations se rapprochaient énormément des études déjà en cours, et les progrès réalisés ont alors été satisfaisants. On pense notamment à l'évaluation du risque d'incendie dans les peuplements ravagés par la tordeuse, aux protocoles de récupération des arbres ravagés, à l'impact de la tordeuse des bourgeons sur la croissance et le rendement, à la mise au point de *B.t.*, un agent de lutte offrant une solution de rechange valable aux insecticides commerciaux et aux pulvérisations aériennes plus efficaces (qui atteignent mieux leur cible) grâce à la recherche sur les techniques de pulvérisation.

Les recommandations ont été mises en œuvre avec moins de succès dans d'autres domaines. L'étude des techniques d'aménagement ne s'est pas intégrée à aucun projet existant de Forêts Canada, et il a donc fallu procéder à une certaine réorganisation. L'émergence de la modélisation comme outil de recherche a poussé le Groupe d'étude à recommander la création d'un groupe «cadre» de modélisation. L'équipe de mise en œuvre décidait qu'il convenait de le créer à Forêts Canada–Maritimes, et une personne était engagée pour diriger ce groupe. Les événements qui se sont déroulés par la suite permettent de supposer que cette décision n'a pas été très judicieuse. La modélisation n'est pas une fin en soi, mais elle devrait se développer au besoin et en temps opportun. Tous les établissements de Forêts Canada disposent maintenant des connaissances d'experts et des installations informatiques nécessaires, mais le concept d'un «centre d'excellence» de modélisation n'est pas approprié.

Le programme Canusa

Le Programme Canada–États-Unis sur les tordeuses des bourgeons de l'épinette a été entrepris en 1977 par le ministère de l'Environnement du Canada et le ministère de l'Agriculture des États-Unis (USDA). Un mémoire d'entente signé par les deux parties donne les grandes lignes de l'objectif principal du programme qui était de «concevoir et évaluer des stratégies de répression destinées à lutter contre les tordeuses et (ou) à aménager des forêts sensibles à la tordeuse qui aideront les aménagistes forestiers à atteindre leurs objectifs de façon acceptable sur le plan économique et environnemental».

Leur philosophie semble rejoindre celle du Groupe d'étude. La structure du programme CANUSA était toutefois très différente et reposait sur la technique appelée «analyse du cheminement critique». Cette technique consiste à identifier des «cibles principales» et des «cibles secondaires» et à déterminer ensuite les besoins de données et les délais pour les atteindre. Les six cibles principales en question étaient essentiellement liées à une discipline et étaient similaires à celles identifiées dans le cadre des programmes antérieurs de recherche et de développement accélérés sur les ravageurs forestiers de l'USDA (spongieuse, chenille à houppes du douglas et dendroctone méridional du pin). Ces programmes comportaient notamment l'évaluation des populations d'insectes et des dommages, la dynamique des peuplements, l'étude des impacts socio-économiques, des stratégies de traitement, l'étude de l'impact sur l'environnement et des systèmes de répression des ravageurs.

Les chercheurs canadiens et américains se rencontraient surtout grâce aux «groupes de travail» mis sur pied pour chaque cible. Ces cibles, contrairement aux objectifs du Groupe d'étude, représentaient de vastes domaines et ne portaient sur aucun besoin particulier d'aménagement. De plus, les fonds supplémentaires alloués par les États-Unis ont été accordés selon l'ordre de priorité établi par les aménagistes américains faisant partie du programme CANUSA, mais aucune somme additionnelle n'a été versée au programme par le Canada. On n'a donc pas tenté d'orienter les ressources du programme CANUSA vers les objectifs préconisés par le rapport du Groupe d'étude de Forêts Canada.

Pour les Canadiens, le programme CANUSA a notamment favorisé des contacts beaucoup plus nombreux avec des chercheurs américains et a permis le transfert de technologie et la tenue de symposiums de recherche au cours des dernières années. Le programme a également stimulé énormément la mise au point d'outils de type opérationnel (comme les pièges à phéromone et les essais coordonnés du *B.t.*) et l'élaboration et la normalisation des méthodes d'homologation des insecticides.

Les leçons de l'expérience

Le programme CANUSA aurait eu une influence plus profonde sur l'orientation de la recherche canadienne si le Canada avait davantage participé à sa planification et avait alloué des ressources plus importantes permettant d'entreprendre de nouveaux projets au Canada. Les responsables canadiens ont plutôt dû tenter d'appuyer le programme CANUSA ainsi que la mise en œuvre des recommandations du Groupe d'étude, double tâche qui a semé la confusion chez le personnel chargé de l'aménagement et de la recherche. À l'avenir, une seule structure organisationnelle devrait prévaloir à Forêts Canada.

Nous croyons que l'approche adoptée par le Groupe d'étude convenait aux besoins du Canada et que les objectifs sont dans l'ensemble toujours valables. Bien que l'accent ne soit maintenant plus le même, nous sommes persuadés que les changements survenus sont suffisants pour justifier un nouvel examen des objectifs du groupe.

La mise en œuvre du plan du Groupe d'étude laissait toutefois quelque peu à désirer. Le plan de mise en œuvre et le programme CANUSA ont tous deux favorisé la collecte de nouvelles données. Ce qui manquait et ce que le Groupe d'étude original a tenté de mettre en place étaient des mécanismes permettant (1) que les efforts de recherche des différents chercheurs portent sur des problèmes de gestion, (2) que des études de recherche puissent être coordonnées et intégrées de façon efficace entre les divers établissements de recherche et (3) que toutes les données recueillies puissent être rassemblées de façon à pouvoir être utilisées par les aménagistes forestiers. C'est encore un défi de taille que de répondre à ces besoins.

Le Groupe d'étude a proposé la création de groupes de travail fonctionnant par objectif, allant à l'encontre de la traditionnelle orientation par discipline de la recherche. Cette approche est contraire aux relations traditionnelles entre les chercheurs, qui ont tendance à se spécialiser dans une discipline. Les chercheurs de Forêts Canada doivent trouver des moyens de coordonner efficacement la recherche tant à l'intérieur d'une même discipline (entre deux établissements) qu'entre deux ou plusieurs disciplines (par exemple impact, biologie des populations, répression). Certaines expériences antérieures prouvent que des groupes de travail peuvent être un bon moyen de coordonner et d'orienter la recherche, et nous sommes par conséquent en faveur de leur création. Il reste à déterminer si les membres des groupes de travail devraient insister sur les disciplines ou les objectifs; une autre section du rapport traitera de cette question. Nous croyons qu'un groupe de travail ne peut pas concilier efficacement les deux et qu'il faut que Forêts Canada soit doté de ces deux types de groupe de travail.

Chapitre 3. Recherche sur la biologie des populations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette

Introduction

La biologie des populations a pour objet de déterminer l'évolution et les causes sous-jacentes des changements dans l'espace et dans le temps de l'abondance et de la qualité des populations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. L'identification des causes de l'augmentation et du déclin des infestations spectaculaires de cet insecte sont au cœur des préoccupations scientifiques sur la biologie de ces populations. Cependant, la communauté scientifique s'intéresse également à plusieurs autres questions particulières, dont le développement des populations, les relations entre les dégâts et la densité de population, les déplacements et les différences de comportement liées au peuplement.

Les connaissances acquises grâce à la recherche sur la biologie des populations peuvent servir à la répression de la tordeuse à trois niveaux différents:
(1) La capacité de prévoir (prévision) les tendances des populations et les changements de la répartition à court, à moyen ou à long terme peut aider à élaborer des calendriers de protection, de récolte et de reboisement destinés à minimiser l'impact économique des infestations de la tordeuse.
(2) Des interventions pour lutter contre des niveaux de population destructeurs ou potentiellement destructeurs peuvent être pratiquées pour améliorer la protection du feuillage, réduire les populations ou conserver des ennemis naturels importants.
(3) On espère prévenir ces infestations dès que leurs causes sous-jacentes seront bien comprises. À ce niveau, les méthodes de reboisement et d'aménagement des peuplements devraient jouer un rôle important. La lutte biologique classique destinée à réduire ou à atténuer les fluctuations de population est une approche idéale à la prévention des infestations; elle peut se faire par des parasites ou des prédateurs indigènes dont on favoriserait la multiplication, par des lâchers massifs ou par l'introduction d'ennemis exotiques.

Les progrès réalisés à ces trois niveaux pourraient nous aider à réduire notre dépendance actuelle à l'égard des insecticides chimiques et biologiques. L'utilisation des insecticides pour protéger le feuillage est coûteuse à long terme en raison de la durée et de l'ampleur des infestations et suscite de vives réactions de la part des groupes environnementaux (leur utilisation est même interdite dans certains territoires). Une coupe de récupération de dernière minute bouleverse le régime d'exploitation avec rentabilité soutenue à moins que des coupes préventives judicieuses ne puissent être pratiquées dans le cadre d'un processus de prise de décisions sur l'aménagement.

Nous avons divisé le domaine de la biologie des populations en quatre sujets distincts: la surveillance des populations, la dynamique des populations, la biologie de la tordeuse et la biologie des organismes associés. La recherche sur la dynamique des populations et l'étude de la biologie de la tordeuse et des organismes associés sont si étroitement liées que l'une doit être effectuée conjointement avec l'autre. Toutefois, Forêts Canada, par souci de commodité, a divisé ses activités de recherche en fonction de ces domaines.

La surveillance des populations comporte le relevé des fluctuations des populations, y compris la détection des infestations, des relevés pour délimiter les limites de l'infestation et l'évaluation des niveaux de population. Pour déterminer l'efficacité des opérations de lutte, classe particulière des activités de surveillance, il faut estimer la densité des populations avant et après le traitement et la gravité des dommages (pourcentage de défoliation). Le RIMA, des employés provinciaux et des entomologistes participent à la surveillance des populations, selon la région. Les renseignements obtenus grâce à de tels relevés sont essentiels à l'étude de la biologie des populations car ils constituent des données de base à long terme sur les tendances et la répartition des populations et les dégâts provoqués par de graves infestations. Ces données sont généralement recueillies à des fins de planification des opérations de protection et des programmes de récolte et la volonté politique de

poursuivre ces activités de relevé en période de faible densité de la tordeuse peut être faible. Il est clair que des activités soutenues de relevé seront probablement plus justifiées lorsqu'on pourra mettre en œuvre des systèmes d'alerte rapide.

À Forêts Canada, la recherche sur la dynamique des populations est destinée (1) à mesurer le taux de survie, de développement, de migration et de reproduction des populations naturelles de la tordeuse et (2) à rassembler des données sur les conditions qui influent sur ces taux, soit les conditions du milieu et du peuplement, les ennemis naturels et le comportement. Les objectifs de base sont de quantifier les processus démographiques associés aux changements de densité de la population au cours d'une infestation et d'obtenir des estimations quantitatives de l'importance des principaux agents responsables. Compte tenu de l'état actuel des populations dans la majeure partie du nord-est de l'Amérique du Nord, les études qui sont actuellement effectuées portent sur des populations ayant atteint un niveau maximal de pullulation ou sur leur déclin.

Les études de la biologie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette et des organismes associés sont destinées à compléter la recherche sur la dynamique des populations afin de tenter d'expliquer l'évolution observée lors des études de population ou d'élucider des phénomènes mal compris, l'impact des ennemis naturels et autres interactions. De nombreuses études sont entreprises directement pour répondre aux besoins identifiés par la recherche sur la dynamique des populations.

Historique – Théories de la dynamique des populations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette

La dynamique des populations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette est un sujet controversé. Jusqu'à tout récemment, la plupart des spécialistes s'entendaient pour dire que les recherches approfondies effectuées pendant les travaux relatifs au projet de la rivière Green au Nouveau-Brunswick au cours des années 50, ainsi que les opinions émises précédemment par des travailleurs et les concepts mis de l'avant lors des efforts de modélisation des années 70, étaient les meilleures explications disponibles du comportement épidémique de cet insecte. Selon cette théorie, les populations de l'insecte sont généralement maintenues à de faibles niveaux endémiques par l'action d'agents régulateurs. Les populations des larves de la tordeuse finissent par atteindre des densités trop fortes pour être contrôlées par le mécanisme de régulation dont la capacité de réagir à une infestation est limitée. La population de la tordeuse s'accroît ensuite rapidement. Le phénomène peut être accéléré par des conditions météorologiques favorables ou par l'invasion de papillons de l'extérieur. La disponibilité de la nourriture pourrait éventuellement limiter l'augmentation des populations. L'effondrement d'une infestation ne serait alors qu'une question de temps, à la suite du décès d'un grand nombre d'arbres causé par plusieurs années de défoliation grave.

Depuis le début des années 80, l'étude de la dynamique des populations de la tordeuse a connu un nouvel essor à la suite de la nouvelle analyse des tables de mortalité du projet de la rivière Green et des données du RIMA compilées par T. Royama (Forêts Canada–Maritimes). La nouvelle analyse a révélé que les infestations de la tordeuse ont une périodicité de 30 à 40 ans. Ces changements de population sont synchronisés dans de vastes régions géographiques, bien que l'ampleur et le stade de l'invasion puissent présenter des différences régionales. Deux éléments majeurs interviennent dans ces fluctuations de la population. Le premier est un changement régulier et graduel du taux de survie des stades larvaires en période d'alimentation, notamment au cours des dernies instars, taux de survie qui, élevé pendant la phase d'accroissement, devient faible pendant le déclin. Ainsi, une épidémie est le résultat de variations graduelles et locales du taux de survie des larves. C'est la raison pour laquelle le programme de recherche de Forêts Canada s'intéresse de façon évidente aux ennemis naturels de la tordeuse. Nous ne savons pas à l'heure actuelle quel rôle jouent les ennemis naturels connus de la tordeuse et s'il est possible que des facteurs de mortalité inconnus entrent en jeu.

Le deuxième élément majeur sous-tendant les changements de population est les fluctuations aléatoires du taux de fécondité apparent, ou du nombre d'œufs pondus par papillon femelle. Ce facteur est la cause principale des écarts marqués au cycle fondamental d'augmentation et de déclin des populations. La fécondité apparente varie avec la fécondité des femelles, l'accouplement et la réussite de la ponte et, fait le plus important de tous, avec la migration des papillons. Les taux de survie et la fécondité apparente varient également de façon systématique d'une station à l'autre.

État actuel de la recherche sur la biologie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette

Surveillance des populations

Au sein de Forêts Canada, la tâche de surveiller les populations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette revient principalement au RIMA. Les activités de surveillance ont une double fin: la première, et celle ayant l'importance la plus cruciale en période d'infestation, est la planification des opérations de protection des forêts, comme la pulvérisation et les coupes de récupération ou de sauvetage; la deuxième, celle présentant le plus grand intérêt dans le cadre de l'étude de la biologie des populations de la tordeuse, est la mise à jour de relevés historiques sur l'abondance, les dégâts et l'impact des populations de la tordeuse pendant les infestations et dans l'intervalle. Ces données constituent une vaste source de renseignements sur le comportement fondamental des populations de la tordeuse pendant de longues périodes et dans de vastes territoires. Les données de relevés servent également de base pour juger de la validité des hypothèses et des théories de la dynamique des populations. Sans de telles données, il serait extrêmement difficile d'élaborer et d'évaluer des concepts généraux sur le comportement des populations.

Il est probable que les connaissances acquises grâce à la recherche actuelle sur la dynamique des populations de la tordeuse mèneront à l'élaboration de systèmes de prévision des populations. Il faudra disposer de données sur les niveaux antérieurs de population de sorte que les augmentations puissent être détectées à un stade précoce. En effet, tout concept d'intervention rapide est sous-tendu par la détection à un stade précoce d'une hausse des populations. Il est donc important que de telles données soient recueillies de façon uniforme, notamment en période de faible densité. Les pièges à phéromone peuvent être un outil approprié pour obtenir de telles données à un coût limité.

La surveillance des populations ayant une double fin, il va de soi que les méthodes utilisée seront différentes. Il est clair que les relevés destinés à déterminer les régions à protéger ou à établir le taux d'épuisement de la ressource forestière provoqué par les ravageurs seront effectués de façon très différente des relevés destinés à établir les tendances fondamentales des populations. Lorsque les niveaux de population sont faibles ou à la hausse, les parcelles d'échantillonnage utilisées pour l'évaluation du risque peuvent être sélectionnées à l'intérieur des «limites» réelles ou présumées d'une zone infestée et peuvent changer d'endroit d'une année à l'autre. D'autre part, les parcelles choisies pour une surveillance à long terme doivent être sélectionnées sur une base écogéographique et devraient être permanentes. Le degré de précision exigé pour les estimations des populations ou des dommages varie de façon similaire.

À l'heure actuelle, les opérations de relevé sont effectuées par le RIMA en Ontario, par les organismes provinciaux au Québec et par des employés du gouvernement provincial et en collaboration avec le RIMA dans les Maritimes et à Terre-Neuve. La contribution relative des divers organismes à ces activités de surveillance s'est modifiée avec le temps, selon le degré de participation de la province et pour répondre aux diverses exigences régionales en matière de précision, de résolution spatiale et de degré d'informatisation.

Le Comité d'examen et d'amélioration des techniques d'échantillonnage et d'évaluation du Conseil de l'Est de la tordeuse des bourgeons de l'épinette examine les problèmes rencontrés lors des activités de relevé et de surveillance des populations de la tordeuse et tente de les résoudre. Ce comité offre une tribune utile aux chercheurs et aux spécialistes des relevés car il leur permet d'examiner les problèmes avec les utilisateurs dont la participation continue est encouragée.

Le tableau 1 énumère les études de Forêts Canada portant sur la surveillance des populations de la tordeuse. Ces activités ont été divisées en trois grandes catégories: l'échantillonnage des populations, le piégeage aux phéromones et la télédétection.

Échantillonnage des populations - À l'heure actuelle, Forêts Canada ne mène aucune étude axée particulièrement sur l'échantillonnage des populations. Toutefois, plusieurs études sur la dynamique des populations s'intéressent au perfectionnement des méthodes actuelles. Elles comprennent par exemple la compensation des modifications de la répartition des ravageurs pendant leur cycle évolutif (Eveleigh, Fleming, Lysyk, Régnière), des méthodes d'estimation des populations peu denses (Lysyk) ou l'amélioration des techniques d'échantillonnage des épinettes blanches (Lysyk, Régnière). Les opérations de surveillance sont généralement effectuées grâce à des estimations des masses d'œufs et des larves hivernantes, mais les relations entre ces estimations et la défoliation ultérieure varient avec le cycle de la population.

Piégeage aux phéromones - Les pièges à phéromone semblent un outil de surveillance très prometteur, notamment pour les populations de tordeuses de faible densité. La mise au point de pièges à phéromone est l'œuvre d'un groupe non officiel de chercheurs canadiens et américains. Deux études sont consacrées directement à ce sujet (Jobin, Sanders). D'autres études portent sur le déploiement des pièges à phéromone dans des parcelles d'échantillonnage permanentes de l'Ontario (Meating), des Maritimes (Magasi), de Terre-Neuve (Raske) et du Québec (Jobin). Ces études sont destinées à améliorer le système de piégeage et le contrôle de la qualité et à établir des relations entre la densité des larves et les captures effectuées dans les pièges. L'effort de recherche dans ce domaine devrait diminuer plus ou moins proportionnellement à l'utilisation opérationnelle de cet outil auquel ont de plus en plus recours le RIMA et les organismes provinciaux. Pendant cette période de transition, il faudra déterminer qui paiera la note des appâts (6 000 $ par année).

Télédétection - La détection des infestations et l'établissement des cartes de défoliation et de mortalité des arbres est toujours effectuée par des observateurs à bord d'avion. La quête de méthodes plus objectives, moins coûteuses et informatisées d'évaluation des dommages a mené à la prise en compte du traitement électronique des images, notamment parce que cette technologie permet l'informatisation des images numérisées et peut se prêter à une utilisation conjointe avec les techniques des systèmes d'information géographique (SIG). La mise au point et en application de techniques de télédétection est effectuée à l'Institut forestier national de Petawawa (IFNP) et au Centre canadien de télédétection (CCT) qui fait partie du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources. La plupart des établissements régionaux de Forêts Canada ont apporté leur appui à ces essais. La recherche est coordonnée par le groupe de travail sur la télédétection de Forêts Canada qui se rencontre à chaque année pour examiner les progrès accomplis et formuler des recommandations.

L'application de la télédétection à la détection et à l'évaluation des dommages causés par la tordeuse n'est que l'un des éléments de l'ensemble du programme de télédétection, et il est par conséquent difficile d'identifier avec précision les ressources allouées particulièrement à ce ravageur. À l'heure actuelle, la recherche en télédétection, préconise l'utilisation de capteurs électroniques aéroportés ou à bord de satellites et qui produisent des données numériques. La capacité d'utiliser des techniques informatisées d'interprétation est un avantage-clé de l'usage de la télédétection numérique. Avec l'utilisation des techniques des SIG pour l'inventaire des forêts et la planification de l'aménagement forestier, une infrastructure technologique commence à se développer au sein de la communauté forestière canadienne pour l'application des techniques de télédétection numérique. Le niveau de résolution de l'imagerie satellitaire ne permet pas actuellement d'évaluer adéquatement des

dommages et manque de fiabilité en raison des trajectoires préétablies et de la couverture nuageuse qui masque trop souvent le secteur visé. De nouveaux satellites, comme le SPOT et le capteur thématique Landsat (TM) ont une meilleure capacité et cette technologie évolue rapidement. Les aéronefs sont plus fiables parce que le territoire qu'ils couvrent peut être modifié selon les conditions du moment et qu'ils peuvent fournir des données à résolution plus élevée. Toutefois, la largeur des champs de visée est plus étroite et les coûts sont plus élevés.

Tableau 1. Études de Forêts Canada portant sur la recherche relative à la surveillance des populations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette

Étude	Chef	Sujet	Ressources de 1987-1988[a] A.-p. permanentes	A.-p. occasionnelles[b]	F&E $
Télédétection					
PI-16	Leckie	Mise au point de techniques	0,8	0,0	1 500
MC-23-188	Ostaff	Évaluation	0,0	0,0	0
MC-23-129	Kettela	Évaluation	0,1	0,0	7 500
LFC-4204	Beaubien	Évaluation (SPOT)	0,2	0,5	3 000
(CCT)	Ahern	Mise au point de techniques	0,2	0,3	10 000
Piégeage aux phéromones					
MC-23-75	Magasi	Coordination (Maritimes)	0,1	0,0	1 000
NE-2708	Raske	Coordination (Terre-Neuve)	0,1	0,0	1 000
LFC-2301	Jobin	Conception de pièges	1,0	0,0	7 500
GLC-32-013	Sanders	Coordination et service	0,4	0,5	5 000
GLC-09-042	Meating	Déploiement des pièges en Ontario	0,1	0,0	1 000

[a] les ressources sont allouées en proportion du pourcentage de travaux sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette.
[b] Les années-personnes occasionnelles comprennent les années-personnes allouées pour les étudiants, converties sur une base annuelle.

À l'heure actuelle, la mise au point de techniques de surveillance des dommages causés par la tordeuse fait l'objet d'un effort conjoint, en grande partie informel, entre le CCT, l'IFNP, le CFL et Forêts Canada–Maritimes. Le CFL (Beaubien) s'attache à l'utilisation des données des satellites, notamment du capteur thématique de Landsat et de SPOT. Les travaux effectués à l'IFNP (Leckie) ont permis de déterminer les caractéristiques spectrales des dommages de la tordeuse à l'aide des données d'un scanneur multibande et d'évaluer les capacités de classification et ses limites. Le CCT (Ahern) concentre ses effors sur les possibilités de l'interprétation visuelle des données obtenues à l'aide d'un scanneur électro-optique multibande (MEIS) et travaille en collaboration avec Forêts Canada–Maritimes (Kettela) pour sélectionner les endroits se prêtant à une vérification au sol. L'IFNP effectue maintenant des recherches sur l'utilisation du scanneur électro-optique multibande pour déterminer les dommages causés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette arbre par arbre dans une placette d'échantillonnage ou pour des applications spécifiques à une station.

L'un des problèmes majeurs posés par l'utilisation des scanneurs électroniques actuellement sur le marché est qu'ils ne sont pas conçus spécifiquement pour être utilisés en foresterie. Pour résoudre ce problème, une proposition a été soumise à l'administration centrale de Forêts Canada par le biais du groupe de travail sur la télédétection en vue de la mise au point d'un scanneur électro-optique multibande adapté qui pourrait notamment effectuer une évaluation des dommages. Le coût de sa mise au point, effectuée en grande partie à contrat, serait d'environ 5 millions de dollars et durerait trois ans. Il est difficile d'évaluer quelle partie de ce montant devrait être allouée à la recherche sur la

tordeuse. Pour aider à la sélection de filtres utilisables dans le nouveau scanneur électro-optique multibande pour détecter les dommages, l'IFNP (Leckie), Forêts Canada–Maritimes (Ostaff) et le CCT ont effectué une étude des facteurs de réflexion spectrale des dommages de la tordeuse dans les Maritimes. Le CFGL ne participe actuellement pas à la recherche sur la télédétection, mais le Groupe de travail sur la télédétection a soumis une proposition en vue d'une étude pour surveiller par télédétection le développement d'une infestation en Ontario, la seule province où les populations sont maintenant à la hausse.

Études sur la dynamique des populations (survivants)

Entre 1981 et 1982, un groupe de chercheurs de Forêts Canada travaillant à Forêts Canada–Maritimes, au CFGL et à l'IRRF ont formé ce qu'ils ont appelé le «Groupe d'étude de l'écologie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette». Le Groupe, qui compte maintenant une quinzaine de chercheurs de Forêts Canada et de l'extérieur, a mis sur pied un programme conjoint et intégré de recherche destiné à élucider les mécanismes de base sous-jacents à la dynamique des populations de la tordeuse. Le Groupe examine régulièrement les priorités de recherche, les stratégies, les protocoles et les résultats. Le tableau 2 énumère les études de Forêts Canada portant sur la dynamique des populations de la tordeuse et sur des sujets connexes.

À l'heure actuelle, des études conçues de façon similaire sont menées au Nouveau-Brunswick, au Québec et en Ontario. Un projet moins intensif se déroule à Terre-Neuve. Les études consistent à échantillonner les populations de la tordeuse au moins deux fois par semaine, ainsi qu'à élever en laboratoire les insectes recueillis et à diagnostiquer les causes de leur mort. D'autres renseignements sont recueillis sur un certain nombre d'insectes morts sur le feuillage ou ailleurs, sur un certain nombre de stades immatures libres de parasites de la tordeuse se trouvant sur le feuillage, sur l'activité des papillons et sur la ponte. Les conditions météorologiques sont surveillées dans tous les endroits où des échantillons sont prélevés. Le plan de base de l'étude prévoit des activités d'échantillonnage et d'élevage beaucoup plus intenses que celles utilisées au cours du projet de la rivière Green. Le protocole actuel permet d'obtenir des renseignements beaucoup plus précis et, dans de nombreux cas, plus valables sur les principaux facteurs de mortalité agissant sur la population d'insectes.

Compte tenu de la lourde charge de travail et des ressources limitées de Forêts Canada, les études ne sont menées que dans une ou deux parcelles par région. C'est là la principale raison de la répétition de l'expérience par les laboratoires régionaux. Une telle répétition accroît les chances d'observer des événements d'une importance vitale et permet de vérifier dans une certaine mesure le caractère général des constatations. Toutefois, le petit nombre de parcelles est insuffisant pour détecter des différences régionales et stationnelles en matière de biologie des populations. Heureusement, le ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec (MER) se lançait en 1985 dans une entreprise conjointe avec le CFL afin d'échantillonner et d'élever en laboratoire des insectes (de façon similaire au protocole d'échantillonnage de Forêts Canada) provenant de 15 parcelles réparties dans l'ensemble de la province, permettant ainsi d'obtenir des renseignements additionnels sur la variation géographique du complexe d'ennemis naturels et sur le comportement d'une population dans une station donnée.

Tableau 2. Études de Forêts Canada sur la dynamique des populations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette et sur des sujets connexes

Étude	Chef	Sujet	Ressources de 1987-1988[a] A.-p. permanentes	A.-p. occasionnelles[b]	F&E $
Études des survivants					
GLC-32-122	Lysyk	Étude des survivants de l'Ontario	1,0	0,5	10 000
FP-11-2	Tyrrell	Agents pathogènes de l'Ontario	0,15	0,0	1 500
LFC-2101	Régnière	Étude des survivants du Québec	2,0	0,5[c]	15 000
LFC-2105	Perry	Agents pathogènes du Québec et étudesdes survivants du MER	1,0	0,2[c]	10 000
LFC-2104	Lethiecq	Descriptions des stations	0,5	0,0	4 000
MC-04-200	Eveleigh	Étude des survivants du N.-B.	2,5	2,3	15 000
MC-04-217	Strongman	Agents pathogènes du N.-B.	0,0	0,3[d]	750
MC-04-157	Royama	Lignes directrices théoriques	1,0	0,0	1 500
NE-2709	Dobesberger	Étude des survivants de T.-N.	0,5	0,05	5 000
NE-2710	Lim	Agents pathogènes de T.-N.	0,7	0,0	5 000
Biologie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette et des organismes associés					
GLC-32-153	Nealis	Biologie des parasites	1,0	0,5	8 000
GLC-32-122	Lysyk	Biologie de la tordeuse	1,0	0,3	5 000
GLC-32-123	Sanders	Dispersion des papillons, oiseaux	0,2	0,0	2 000
GLC-32-016	Harvey	Taxinomie de la tordeuse	1,5	0,2	5 000
(BRC)	Dang	Taxinomie de la tordeuse	0,2	0,2	4 000
LFC-2101	Régnière	Physiologie de la tordeuse	0,5	0,0	0
LFC-2102	Régnière	Biologie des parasites	0,5	0,2[c]	5 000
LFC-2103	Delisle	Écologie de la reproduction	2,0	0,5	7 000
MC-04-200	Eveleigh	Biologie des parasites	0,25	0,0	0
MC-04-200	Eveleigh	Déplacement des larves	0,25	0,0	0
MC-04-217	Strongman	Champignons épiphytes	0,0	0,4[d]	1 000
MC-04-166	Strunz	Mécanisme de défense des plantes/toxines fongiques	1,0	0,0	5 000
MC-04-180	Thomas	Écologie de l'alimentation	1,0	0,2	3 000

[a] Les ressources sont allouées en proportion du pourcentage des travaux sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette.
[b] Les années-personnes occasionnelles comprennent les années-personnes allouées pour les étudiants, converties sur une base annuelle.
[c] Les ressources fournies par le MER du Québec ne sont pas incluses, mais représentent 0,5 année-personne pour l'étude LFC-2101, 0,5 année-personne pour l'étude LFC-2102 et 3,5 années-personnes pour l'étude LFC-2105.
[d] C'est une bourse de recherches postdoctorales (salaire de 25 000 $ versé à même le budget de F&E) qui doit prendre fin en 1988.

Nouveau-Brunswick - L'apport de l'étude du Nouveau-Brunswick se fait à deux niveaux: en premier lieu, au niveau théorique, en matière de conception d'études des survivants et de méthodes analytiques à utiliser lors de l'interprétation des données (Royama), et, en deuxième lieu, Forêts Canada–Maritimes effectue l'étude des survivants la plus détaillée (Eveleigh, Royama). Des échantillons ont été prélevés à chaque jour (sauf les week-ends) dans une parcelle entre 1982 et 1986 et dans cette dernière parcelle et dans une parcelle nouvellement établie à tous les deux jours depuis 1986. Il est possible qu'on doive abandonner le prélèvement d'échantillons dans la parcelle la plus ancienne du Nouveau-Brunswick en raison du grand nombre d'arbres morts. Strongman, détenteur

d'une bourse de recherches postdoctorales en mycologie (janvier 1986 à mars 1988), participe aux travaux sur l'établissement de diagnostics et l'identification des agents pathogènes fongiques.

Ontario - Des échantillons ont commencé à être prélevés en 1982 et 1983 à tous les deux ou trois jours dans des parcelles très éloignées et ont continué de l'être dans l'une d'elles jusqu'à maintenant. Dans la deuxième parcelle, la population de la tordeuse a diminué en 1985 à des niveaux si bas qu'elle empêchait l'échantillonnage. Les responsables de l'étude (Lysyk, Nealis) ont décidé de concentrer leurs efforts dans la parcelle fortement infestée. Cette parcelle est située au lac Black Sturgeon, à 500 km de Sault Ste. Marie, et les travaux y sont effectués à partir d'une station sur le terrain. Cet éloignement entraîne des problèmes de logistique particuliers et des coûts additionnels. Certains travaux se déroulent toujours dans la parcelle faiblement infestée pour évaluer l'importance de *Meteorus trachynotus* chez cette population (Nealis). La participation de l'IRRF (Tyrrell) aux aspects pathologiques de ces travaux a diminué considérablement. Sanders a étudié l'envol des papillons à un endroit pendant plusieurs années.

Québec - En 1985, deux parcelles d'échantillonnage de Forêts Canada étaient créées au Québec (Perry, Régnière). Les populations ont décliné régulièrement jusqu'à ce que l'une des parcelles soit abandonnée en 1987 afin de concentrer les efforts dans une autre parcelle. Les niveaux de population étaient trop faibles pour utiliser les méthodes normalisées d'échantillonnage en 1987, et de nouvelles techniques ont été mises au point. L'étude des survivants du CFL comprend l'estimation directe de l'impact des activités de prédation des oiseaux par la technique de l'exclusion (Régnière).

En 1985, le MER du Québec créait un réseau de 15 parcelles d'échantillonnage en collaboration avec le CFL. L'échantillonnage y est effectué selon des méthodes similaires à celles utilisées lors des études de Forêts Canada. Des insectes (de 20 000 à 50 000 par saison) sont élevés en laboratoire et identifiés au CFL (Perry). Les données de ce réseau de placettes compensent le nombre limité d'observations effectuées par Forêts Canada et fournissent un relevé assez étendu; il permet de plus d'obtenir des parasites et des pathogènes naturels de la tordeuse. Les employés du MER fournissent également, grâce à des prélèvements d'échantillons spéciaux, du matériel biologique permettant d'effectuer d'autres recherches.

Une étude est actuellement en cours (Lethiecq) pour décrire le milieu physique et végétal des placettes de Forêts Canada et du MER afin de rassembler une documentation et de corréler ces caractéristiques à des différences majeures du complexe d'ennemis naturels ou d'autres phénomènes démographiques. Cette étude comportera également des épreuves biologiques pour déterminer la qualité du feuillage dans chacune de ces parcelles dès 1988.

Terre-Neuve - L'étude de Terre-Neuve (Dobesberger, Lim) a été effectuée de façon plus ou moins intense et à l'aide de diverses méthodes depuis 1983 dans une gamme assez vaste mais plutôt changeante de placettes. À l'heure actuelle, des échantillons ne sont prélevés qu'une seule fois par semaine dans une placette. L'étude fournit certaines données sur les ennemis naturels de la tordeuse des bourgeons de l'épinette à Terre-Neuve et permet également d'obtenir de la documentation sur les taux de mortalité des populations qui sont sur leur déclin. Toutefois, la faible fréquence de l'échantillonnage, est, croit-on, insuffisante pour obtenir des données quantitatives adéquates.

Biologie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette

Les chercheurs de Forêts Canada se penchent actuellement sur plusieurs aspects de la biologie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

Physiologie du développement - Le développement de la diapause et la mortalité pendant l'hibernation (Régnière) et la simulation de la phénologie (Lysyk, Régnière) sont parmi les sujets examinés.

Taxinomie - Au cours des années 70, Harvey (CFGL) commençait à tenter de trouver des différences de composition des isozymes entre les différentes populations de tordeuses comme méthode éventuelle de détection d'une infestation imminente. Ses travaux n'ont pas donné les résultats escomptés et portent maintenant sur l'identification et la répartition des espèces de *Choristoneura* dans l'ouest du Canada. Dans le cadre de cette étude, il collabore avec Shepherd, Centre de foresterie du Pacifique (CFP) et Dang du Centre de recherches biosystématiques (CRB). Dang est un employé de Forêts Canada détaché auprès du CRB. Il tente de trouver des caractères morphologiques pour séparer les diverses espèces et concentre actuellement ses efforts sur l'hybridation possible des espèces de l'Ouest et de l'Est dans le nord de la Colombie-Britannique et au Yukon.

Comportement - Ce sujet retient beaucoup l'attention, surtout sur le plan du déplacement des larves, puisqu'il englobe l'échantillonnage, la transmission des maladies et la mortalité (Eveleigh, Perry, Régnière). Une composante assez importante du programme s'attache au comportement du papillon, notamment à la communication chimique, à la sélection du partenaire, à la ponte et à la migration (Delisle, Eveleigh, Lysyk, Sanders). Certains travaux de modélisation du comportement d'envol sont actuellement en cours (Régnière).

Interactions avec la plante-hôte - Ce sont les aspects de la nutrition et de la défense chimique qui sont actuellement examinés. On utilise les méthodes mises au point par Thomas (Forêts Canada–Maritimes) pour étudier l'alimentation, la croissance et les dommages (Régnière poursuit les travaux entrepris par Prévost, détenteur d'une bourse de recherches postdoctorales). Les moyens de défense chimiques des arbres-hôtes (répulsifs pour empêcher l'alimentation, toxines) font également l'objet d'études (Strunz, Thomas). La contribution possible des toxines produites par des champignons épiphytes provenant du feuillage de l'arbre-hôte à la mortalité de la tordeuse font également l'objet de recherches (Strunz, Strongman). En Ontario, l'attention se porte sur la mortalité du début de printemps telle qu'affectée par la synchronie avec l'arbre-hôte (Fleming, Lysyk).

Biologie des organismes associés

On sait très peu de chose sur la biologie de nombreux ennemis naturels de la tordeuse. Le cycle biologique saisonnier, les exigences écologiques, les caractères physiologiques et le comportement de plusieurs de ces ennemis font actuellement l'objet d'études. Ces connaissances sont essentielles à la compréhension de leur relation avec la tordeuse des bourgeons de l'épinette, de leur importance dans la régulation naturelle et de leur potentiel comme agent de lutte dans le cadre d'une gestion intégrée des ravageurs.

Parasites - Le cycle biologique, le comportement et la dynamique des populations des parasites de la tordeuse de la famille des tachinidés font actuellement l'objet d'études (Eveleigh). Des parasites à leurs premiers stades larvaires, notamment *Apanteles fumiferanae*, sont au centre d'études portant sur leur biologie, leur comportement et les interactions avec d'autres facteurs de mortalité (Eveleigh, Nealis). Le seul parasite hyménoptère répandu des stades larvaires plus gros, *Meteorus trachynotus*, fait actuellement l'objet d'une étude approfondie pour déterminer son cycle biologique, ses hôtes facultatifs, ses exigences écologiques et son rôle dans l'effondrement des populations de la tordeuse (Nealis, Régnière). Le MER du Québec apporte son concours (étudiants embauchés pendant l'été ainsi qu'étudiants diplômés) à ses travaux.

Prédateurs - Les prédateurs ont moins retenu l'attention, en partie parce qu'il est difficile de mesurer leur impact sur les populations naturelles. Les populations d'oiseaux ont été recensées pendant une vingtaine d'années dans une parcelle d'Ontario (Sanders). Un projet conjoint a été entrepis par le CFL (Régnière) et le Service canadien de la faune afin d'observer les modifications du comportement des oiseaux à la recherche de nourriture dans un territoire où périclitait une population de tordeuses des bourgeons de l'épinette, tout en mesurant l'impact des oiseaux sur l'insecte. Jusqu'ici, les invertébrés ont reçu très peu d'attention.

Pathogènes - Toutes les activités d'échantillonnage effectuées dans le cadre du programme de Forêts Canada ou du MER du Québec ont permis d'accumuler une vaste réserve de souches pathogènes grâce auxquelles il sera possible d'effectuer des recherches dans le domaine de la lutte biologique. L'établissement des caractères biologiques de ces isolats sert à étudier les relations écologiques entre les populations de microbes et la tordeuse (Perry). Des recherches spéciales sont menées sur l'écologie des pathogènes de la tordeuse (Perry, Strongman) ainsi que sur deux nouvelles espèces du genre *Hirsutella* (Strongman). De nombreux travaux portent sur les propriétés écologiques des souches de pathogènes entomophthorales de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (Perry). L'ampleur des travaux sur les microsporidies (principalement *Nosema fumiferanae*) a été réduite car le chercheur (Wilson, IRRF) s'est vu assigner d'autres tâches. Un projet majeur de recherche effectué conjointement par Forêts Canada (Perry) et l'Institut Armand Frappier de Montréal grâce à des fonds versés par le MER et l'Université du Québec porte sur la mise au point de techniques sensibles qui, à l'aide d'indicateurs génétiques, pourraient permettre de détecter et d'identifier sur le terrain des agents pathogènes de la tordeuse, notamment des virus et des protozoaires.

Examen des questions et des préoccupations

A. Surveillance des populations

Relevés de la tordeuse des bourgeons de l'épinette - Il faudra clarifier les rôles des divers organismes participant à des relevés des populations de la tordeuse dans chaque province et définir clairement le rôle du RIMA à cet égard (**Recommandation 1**). Nous admettons que le rôle du RIMA puisse varier d'une région à l'autre mais sommes persuadés qu'il devrait assurer la continuité temporelle et méthodologique des relevés historiques de l'abondance de la tordeuse dans chaque région, car l'intérêt que portent les provinces à ce ravageur a tendance à diminuer entre deux périodes d'infestation. Ces renseignements sont essentiels à la compréhension définitive de la dynamique des populations de la tordeuse. Ils formeront également la base des systèmes de prévision qu'exigent implicitement les concepts d'intervention rapide. Il faudrait également prendre en main la mise au point de méthodes d'échantillonnage normalisées et d'entretien d'une base de données informatisée, y compris des données sur la fiabilité des renseignements. La participation du RIMA à des recherches méthogologiques est encouragée. Elle permettra d'accroître les communications avec les chercheurs de Forêts Canada. Parmi les problèmes méthodologiques qui exigent recherche et développement, mentionnons notamment l'amélioration des méthodes de prévision de la défoliation à partir des dénombrements des larves hivernantes (L_2) et l'amélioration des techniques d'échantillonnage de l'épinette pour estimer la densité et la défoliation.

L'ampleur des recherches sur la conception des pièges à phéromone devrait être réduite au cours des prochaines années car cet outil de surveillance en est maintenant à sa phase opérationnelle. Il faudra effectuer de façon continue certains travaux pour mettre à l'essai les nouveaux produits qui apparaîtront sur le marché.

Télédétection - La télédétection est appelée à jouer un rôle majeur dans l'évaluation des dégâts causés par la tordeuse, mais il faut tout d'abord surmonter des problèmes d'ordre technique. L'IFNP et le CCT sont les deux principaux organismes participants. L'IFNP a tendance à faire porter ses recherches sur les principes de base et le CCT sur les applications sur le terrain. Des chercheurs des différents établissements régionaux de Forêts Canada y participent également individuellement. Il faut coordonner ces efforts pour mettre au point et démontrer le potentiel de la télédétection. Auparavant, des technologies différentes se faisaient une concurrence et elles avaient toutes des désavantages. Le projet de scanneur électro-optique multibande adapté pourrait résoudre bon nombre de ces problèmes; le degré de participation de Forêts Canada à sa production est une question sur laquelle devrait se pencher le CORE (**Recommandation 2**). Nous recommandons que Forêts Canada

donne son appui à la production et à la mise à l'essai de séries de filtres pour le scanneur électro-optique multibande afin d'évaluer son potentiel.

Une lacune des études antérieures sur l'évaluation des dégâts par la télédétection était l'absence de données entomologiques. Pour la combler, le Comité des établissements de recherche allouait, il y a cinq ans, une année-personne à l'IFNP pour embaucher un entomologiste connaissant les exigences du RIMA pour travailler en équipe avec Leckie. L'IFNP n'a tout d'abord pas réussi à trouver le bon candidat. Le poste est maintenant comblé, mais non pas par un entomologiste, et bien que la personne engagée accroisse les capacités de l'IFNP de travailler sur l'évaluation des dommages, il reste toujours à déterminer s'il faudra davantage de données entomologiques. Le Comité des établissements de recherche se penchera sur cette question avec la participation du groupe de travail sur la télédétection (**Recommandation 2**).

B. Groupe d'étude de l'écologie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette

Ce groupe est considéré comme une tribune nécessaire à l'examen et à la coordination des activités de recherche. Les études constituant le programme sur la biologie des populations sont si inextricablement liées qu'il est essentiel d'avoir des discussions constantes et ouvertes. Il faudra examiner soigneusement la structure organisationnelle à donner à ce groupe. Les membres qui en feront partie seront des volontaires et le groupe ne sera doté d'aucune structure hiérarchique. Il faudra favoriser la participation des chercheurs compétents de Forêts Canada en ce domaine et une certaine forme d'encouragement (financier) de l'administration centrale de Forêts Canada serait probablement indiquée pour s'assurer que le budget de F&E ne vienne pas limiter la participation. Les chercheurs de l'extérieur de Forêts Canada sont les bienvenus pourvu qu'ils soient prêts à apporter une participation concrète et non pas à se comporter comme de simples observateurs.

C. Études sur la dynamique des populations

Les études des survivants sont des programmes de recherche à long terme qui exigent de la part des différents chercheurs beaucoup d'efforts et de temps et mobilisent une partie considérable des ressources de Forêts Canada. Ce sont des entreprises conjointes qui ne se prêtent pas aisément à la publication d'un grand nombre de rapports par un petit nombre d'auteurs. La direction doit reconnaître cette situation et en tenir compte dans son processus d'évaluation et de promotion.

C'est par dessein que les études des survivants sont menées de façon très similaire dans chacune des régions et que les ressources nécessaires sont en grande partie réparties équitablement entre les établissements. L'étude menée par le CFGL et l'IRRF a droit à 3,35 années-personnes permanentes et à 1,5 année-personne occasionnelle, avec une budget de fonctionnement et d'entretien de 26 500 $ et la participation de quatre chercheurs (Lysyk, Nealis, Sanders et Tyrrell). Un fort pourcentage des dépenses de F&E de l'étude de l'Ontario est attribuable aux coûts associés avec l'éloignement de la placette. Il est donc raisonnable que les frais de déplacement et de subsistance soient relativement plus élevés que dans les autres centres. Cette étude manque de main-d'œuvre estivale, en comparaison du soutien dont dispose les autres études (si l'on considère la main-d'œuvre supplémentaire fournie à l'étude du CFL par le MER). L'étude du CFL reçoit 4,0 années-personnes permanentes et 0,9 année-personne occasionnelle et un budget de F&E de 34 000 $; trois chercheurs y participent, soit Lethiecq, Perry et Régnière. Les coûts additionnels occasionnés au CFL par sa collaboration avec le MER en matière d'élevage en laboratoire et d'identification des insectes provenant de 15 placettes qu'il faut visiter et décrire est estimée à 1,0 année-personne permanente et à 14 000 $ de F&E. Ces coûts sont en partie compensés par le 0,5 année-personne occasionnelle fourni directement par le MER pour l'étude LFC-2101. L'étude du de Forêts Canada–Maritimes exige 4,0 années-personnes permanentes et 3,0 années-personnes occasionnelles et un budget de F&E de 16 750 $ et un seul chercheur (Eveleigh) et un détenteur d'une bourse de recherches postdoctorales

temporaire (Strongman) y participent activement. Certains des employés occasionnels participant à cette étude effectuent des travaux qui relèvent de services différents dans d'autres centres. Les tendances récentes du programme d'emploi d'été de Forêts Canada ont gravement limité le nombre d'étudiants qu'on pouvait engager pour contribuer à ces études exigeant beaucoup de main-d'œuvre. Ce problème inquiète particulièrement le CFGL (problème qui a été en partie résolu au CFL par l'apport du MER).

Un problème unique de l'étude des survivants de Forêts Canada–Maritimes est que les travaux ont été en grande partie effectués par un seul chercheur, ce qui a occasionné des dépenses de surtemps élevées. L'embauche de D. Strongman, détenteur d'une bourse de recherches postdoctorales sur la pathologie des insectes qui prend malheureusement fin en 1988, a permis de remédier temporairement au manque de collaborateur. L'étude des survivants de Forêts Canada–Maritimes a besoin d'autres ressources humaines, notamment en pathologie des insectes. La collaboration avec Perry (CFL) a permis de réduire l'arriéré de travail d'identification. Il faudrait encourager, si possible, la collaboration d'autres entomologistes aux études des survivants.

De nouvelles méthodes pour l'étude des populations peu denses sont actuellement à l'étude au CFL (Régnière) et au CFGL (Lysyk, Nealis). La densité des populations dans l'une des placettes du Nouveau-Brunswick a décliné brusquement en 1987 et il est probable que l'utilisation de méthodes d'étude des populations de faible densité sera nécessaire dans un futur rapproché. Une situation similaire devrait finir par se reproduire dans toutes les placettes. Le Groupe d'étude de l'écologie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette devrait servir de forum pour aider à l'élaboration de ces techniques.

Les ressources allouées à la recherche sur la dynamique des populations de la tordeuse à Forêts Canada, notamment pour la main-d'œuvre estivale, devraient rester à leur niveau actuel même pendant une période de faible densité de ce ravageur (**Recommandation 3**). Il est essentiel de comprendre quels facteurs gardent les populations de la tordeuse à de faibles niveaux après leur déclin et pourquoi ces populations finissent par réaugmenter pour mettre au point de nouvelles techniques de répression de la tordeuse qui soient acceptables sur le plan environnemental.

D. Biologie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette et des organismes associés

Le tableau 2 laisse clairement voir que les efforts de recherche dans ce domaine sont répartis assez également entre les trois établissements régionaux qui se penchent de façon plus importante sur la biologie des populations.

Le rôle de la recherche de Forêts Canada sur la taxinomie (y compris celle du Conseil de recherche sur la tordeuse relative à la classification de cet insecte) par rapport aux autres activités de recherche de Forêts Canada n'est pas clair et a besoin d'être réexaminé. Lorsqu'un programme coordonné de Forêts Canada existe, comme dans le cas de la tordeuse, il faut qu'il soit doté d'un mécanisme pour s'assurer de la participation du personnel compétent de Forêts Canada faisant partie du Conseil de recherche sur la tordeuse.

Le Groupe d'étude de l'écologie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette de Forêts Canada devrait tenter d'identifier les domaines exigeant des études plus approfondies et les chercheurs qui pourraient s'en charger.

Chapitre 4. Recherche sur l'impact de la tordeuse des bourgeons de l'épinette

Introduction

La recherche sur l'impact de la tordeuse des bourgeons de l'épinette sur les ressources forestières porte essentiellement sur quatre domaines:
(1) la quantification des effets de la défoliation sur la croissance de l'arbre, sa mortalité et le rendement en volume ligneux pour une variété de degrés de défoliation, d'essences d'arbres-hôtes, de types de peuplement et d'âges de peuplement;
(2) une description des relations entre la vulnérabilité du peuplement aux dégâts de la tordeuse et les caractéristiques de l'arbre, du peuplement et de la station;
(3) l'établissement des effets à long terme des infestations de la tordeuse sur la régénération et la succession végétale; et
(4) la mise au point de méthodes de prévision des effets des infestations de la tordeuse sur la production de matière ligneuse d'après les données obtenues suivant les paragraphes (1) à (3) ci-dessus.
L'étude des effets de la défoliation causée par la tordeuse sur la détérioration et les déprédateurs secondaires et les maladies, la production de cônes et de graines, la faune et certains aspects de la physiologie de l'arbre (par exemple chimie du feuillage, production de feuillage, etc.) sont parmi les autres secteurs d'activité.

De nombreux aspects de la recherche sur l'impact de la tordeuse peuvent être considérés comme une ensemble secondaire de la recherche sur la croissance et le rendement puisqu'elle entraîne la mise au point de méthodes pour déterminer les écarts par rapport à la croissance et au rendement en volume prévu (la «perte de croissance») occasionnés par la défoliation de la tordeuse. L'objectif global de ces études est d'élaborer, à partir de la défoliation, des modèles de croissance des peuplements qui puissent être utilisés pour ajuster les prévisions de rendement grâce à la prise en compte de divers scénarios de défoliation. Forêts Canada devrait jouer un rôle dans l'établissement des facteurs d'estimation des pertes (impact) minimales pour différents niveaux de défoliation, diverses essences forestières, des types de peuplement variés, etc., et également dans la mise au point de méthodes destinées (1) à prévoir les effets de la tordeuse sur l'approvisionnement en matière ligneuse et (2) à déterminer l'épuisement des ressources forestières inventoriées causé par les insectes et les maladies.

Les études d'impact exigent la sélection de parcelles représentatives d'un peuplement particulier et de conditions de défoliation; les mesures prises de façon répétées pendant plusieurs années permettront d'obtenir une description de la relation entre la croissance de l'arbre, la mortalité, les tendances de la succession observées, etc., et la défoliation mesurée. Les possibilités de recherche sont donc limitées par la densité des populations de la tordeuse survenant dans la nature et la défoliation qu'elles occasionnent; seule la répression réalisable par des opérations de pulvérisation permet de manipuler les populations. Lorsque les populations déclinent dans de vastes territoires, les possibilités de recherche sur le terrain se limiteront à l'examen de la récupération du peuplement ou des tendances de la succession après la défoliation.

Le tableau 3 résume les études actuelles de Forêts Canada qui portent sur l'impact de la tordeuse des bourgeons de l'épinette sur la forêt. Au total, 11 études sont effectuées au CFTN, Forêts Canada–Maritimes, au CFL, au CFGL, à l'IRRF et au CFN. Pour fin d'examen, les études ont été regroupées en trois domaines: (1) impact sur la croissance et le rendement des forêts, (2) impact sur la régénération et la succession végétale et (3) études de la détérioration, des déprédateurs secondaires et des maladies.

État actuel de la recherche sur l'impact de la tordeuse des bourgeons de l'épinette

Impact sur la croissance et le rendement des forêts

Six études servent directement à quantifier les effets de la défoliation causée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette sur la croissance de l'arbre, la mortalité et le rendement en volume. Trois de celles-ci sont menées à Forêts Canada–Maritimes, les trois autres se trouvant au CFT-N, au CFGL et au CFN (tableau 3). Une septième étude effectuée à l'IRRF porte sur la modélisation de l'impact de la tordeuse. Le CFL ne travaille actuellement pas sur l'impact de la tordeuse bien que Blais (maintenant à la retraite) et Archambault (en congé d'éducation) se soient auparavant activement intéressés à ce domaine.

Les activités de recherche sur l'impact de Forêts Canada–Maritimes se sont principalement déroulées dans l'île du Cap-Breton de 1976 à 1985 où les chercheurs ont pu étudier les effets d'une grave infestation incontrôlée de la tordeuse. MacLean et Ostaff ont étudié conjointement l'impact de cette infestation dans 20 peuplements de sapins arrivés à maturité tandis que Piene a travaillé dans 10 parcelles de sapins immatures espacés et non espacés; Ostaff a également participé à une étude de trois parcelles du Nouveau-Brunswick et à d'autres activités d'évaluation des dégâts de ravageurs forestiers au sein de la section du RIMA. La stratégie de recherche et le degré de précision des données recueillies diffèrent énormément entre les études effectuées dans les peuplements arrivés à maturité et immatures. L'objet principal des recherches effectuées dans les peuplements arrivés à maturité était la mortalité et la diminution du volume actuellement récoltable tandis que dans les peuplements immatures, c'était la perte de croissance et les effets sur le rendement futur en matière ligneuse et le temps prévu de la récolte. Dans les peuplements non arrivés à maturité, l'étude prévoyait l'entretien de parcelles-témoins grâce à des pulvérisations au sol d'insecticides, le suivi des coupes de récupération des arbres à la suite de diverses séquences de défoliation et le calcul détaillé de la biomasse des feuilles et de la croissance des arbres. Au début des années 80, les niveaux de population de la tordeuse ont décliné dans l'île du Cap-Breton et l'analyse des données de ces études est presque terminée; les résultats devraient être publiés en 1988-1989. Fleming (IRRF) travaille en collaboration avec Piene à la modélisation de l'impact de la tordeuse à partir des données détaillées disponibles de l'étude de l'île du Cap-Breton. Ces travaux sont destinés à clarifier l'impact de cet insecte en l'absence de mesures de lutte.

En 1985, MacLean entreprenait une étude de l'impact de la tordeuse sur l'épinette blanche, l'épinette rouge et l'épinette noire au Nouveau-Brunswick en collaboration avec le ministère des Richesse naturelles et de l'Énergie du Nouveau-Brunswick (MRNE, N.-B.). Des données sont recueillies à chaque année dans 136 placettes permanentes d'échantillonnage sélectionnées par essence, degré de maturité, protection et accroissement antérieur en volume (1980-1983). Cette étude à long terme qui doit se poursuivre jusque pendant les années 90 est directement liée aux méthodes de planification de l'aménagement forestier du MRNE, N.-B.

Tableau 3. Sommaire des recherches de Forêts Canada portant sur l'impact de la tordeuse des bourgeons de l'épinette sur la forêt

Étude	Chef	Sujet	Ressources de 1987-1988[a] A.-p. permanentes	A.-p. occasionnelles[b]	F&E $
Études de l'impact sur la croissance et le rendement des forêts					
MC-04-211	MacLean	Impact dans les peuplements de sapins-épinettes arrivés à maturité du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse	2,0	1,4	22 800
MC-04-212	Piene	Impact dans les jeunes peuplements de sapins-épinettes du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse	2,0	0,0[c]	20 000
MC-23-188	Ostaff	Évaluation des dégâts causés par les ravageurs forestiers	0,3	0,0	1 000
NE-2711	Raske et Dobesberger	Impact des principaux défoliateurs à Terre-Neuve	1,8	0,7	5 000
GLC-09-044	Gross et Roden	Parcelles d'étude de l'impact de la tordeuse des bourgeons de l'épinette en Ontario	0,3	0,1	5 000
NOR-11-05	Moody	Évaluation des dégâts causés par les principaux ravageurs forestiers	0,1	0,0	500
FP-23	Fleming	Modélisation de l'impact de la tordeuse des bourgeons de l'épinette	0,2	0,0	300
Études de l'impact sur la régénération et la succession végétale					
MC-04-201	Huot	Impact sur la régénération et la succession végétale au Nouveau-Brunswick et en Nouvelle-Écosse	1,0	1,0	4 000
NE-2714	Meades	Impact sur la succession végétale à Terre-Neuve	0,0	0,0	0
Détérioration, déprédateurs secondaires et maladies					
NE-2706	Warren	Détérioration des arbres ravagés par des insectes	1,8	0,1	5 000
NE-2708	Bowers	Rôle des xylophages et des scolytes de l'écorce dans la détérioration	1,5	0,2	2 000

[a] Les ressources sont allouées en proportion du pourcentage de travaux sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette.
[b] Les années-personnes occasionnelles comprennent les années-personnes allouées pour les étudiants, converties sur une base annuelle
[c] L'étude MC-04-212 (Piene) de Forêts Canada–Maritimes n'a reçu aucune année-personne occasionnelle en 1987-1988 car le chercheur complétait l'analyse des données et la rédaction d'un rapport sur ses résultats de recherche; en 1986-1987, 3,2 années-personnes occasionnelles lui avaient été allouées.

L'étude d'impact de Raske et de Dobesberger du CFT-N comporte trois volets distincts. Dans le premier volet, 80 placettes d'échantillonnage permanentes ont été créées en 1975 dans des peuplements de sapins et d'épinettes noires; des mesures y ont été prises à chaque année jusqu'en 1981, année de l'effondrement de l'infestation, pour en connaître le degré de défoliation; la mortalité y a été mesurée jusqu'à maintenant. Il était prévu de récolter les placettes en 1984 et d'effectuer une analyse complète de la tige des arbres afin d'obtenir les données sur la croissance nécessaires pour évaluer adéquatement l'impact. Les ressources permettant l'achèvement de l'étude n'ont toutefois pas été allouées en partie parce que les ressources financières et humaines de l'étude d'impact ont été transférées à un programme de pulvérisations expérimentales pour lutter contre l'arpenteuse de la pruche. Le deuxième volet de l'étude d'impact du CFT-N consistait en une étude de l'impact de la tordeuse sur l'approvisionnement en broutilles de l'orignal (Raske en collaboration avec la division de la faune de Terre-Neuve) et le troisième volet reposait sur une défoliation artificielle (manuelle). 50 jeunes sapins baumiers ont été plus ou moins défoliés à la main pendant deux ans, leur tige a été analysée et l'accroissement en volume de l'année en cours a été corrélé à la défoliation et à la biomasse du feuillage. Cette approche exigera que la comparabilité des effets d'une défoliation naturelle et artificielle soit vérifiée. Les données ainsi recueillies font partie du projet de doctorat de Dobesberger à l'Université de Toronto.

Les études d'impact menées au CFGL et au CFN sont effectuées dans le cadre de vastes efforts d'évaluation des dégâts du RIMA. 15 placettes ont été établies dans le centre-nord et le nord-ouest de l'Ontario par Roden et Gross et étudiées pour déterminer les facteurs d'estimation de la perte de volume et de la mortalité. 24 autres placettes du nord de l'Ontario étaient consacrées à l'épinette blanche. L'épuisement de la ressource causé par la tordeuse est estimé à chaque année en Ontario et ces études sont destinées à améliorer les facteurs d'estimation des pertes. Moody, du CFN, a établi 16 placettes permanentes dans des peuplements d'épinettes blanches et de sapins baumiers du Manitoba en 1981 et les a mesurées à chaque année pour en connaître le degré de défoliation et l'impact.

Impact sur la régénération et la succession végétale

Huot (Forêts Canada–Maritimes) et Meades (CFT-N) se penchent sur les effets des infestations de la tordeuse sur la régénération et la succession végétale à long terme. Il a étudié les effets de la tordeuse sur la régénération à l'aide de placettes permanentes établies dans l'île du Cap-Breton depuis 1982 et s'est également servi de données historiques provenant de parcelles du nord-ouest du Nouveau-Brunswick (région de la rivière Green) pour examiner les effets à long terme de l'infestation des années 50 dans cette région. Les deux études ont été menées dans des peuplements de sapins baumiers. Une étude conjointe de la régénération dans des peuplements des basses-terres du Cap-Breton a également été menée en collaboration avec le ministère des Terres et Forêts de la Nouvelle-Écosse. En 1980, Meades a établi 10 parcelles dans deux types différents de peuplements de l'ouest et du centre de Terre-Neuve pour examiner l'évolution de la végétation pendant et après une infestation de la tordeuse. Il avait l'intention de prendre de nouvelles mesures dans les parcelles en 1985 et de poursuivre l'étude jusqu'en 1990, chose qu'il n'a pas pu faire, faute de ressources. Cette étude n'occupe qu'un faible pourcentage du temps de Meades et il ne prévoit pas accroître ses activités sur l'impact.

Études de la détérioration, des déprédateurs secondaires et des maladies

Seulement deux études de Forêts Canada, toutes deux menées au CFT-N, se penchent actuellement sur l'interaction des infestations de la tordeuse et de l'évolution de la pourriture de l'aubier, de la détérioration du bois mort et de la sensibilité aux déprédateurs secondaires et aux maladies. Warren étudie la détérioration de peuplements d'épinettes noires et de sapins tués par la tordeuse et l'arpenteuse de la pruche dans l'ouest et le centre de Terre-Neuve et Bowers s'en tient au rôle des déprédateurs secondaires (xylophages et scolytes de l'écorce, notamment *Polygraphus*

rufipennis) dans la mort et la détérioration de l'épinette noire. Il est peu probable que d'autres travaux sur la tordeuse soient effectués dans un avenir rapproché car les populations de cet insecte ont décliné et sont actuellement très faibles au Nouveau-Brunswick. De plus, Wall et Ostaff (Forêts Canada–Maritimes) ont étudié certains aspects de la détérioration de sapins baumiers décimés par la tordeuse dans l'île du Cap-Breton, et Basham (CFGL) s'est penché sur la détérioration du sapin baumier en Ontario; Wall a depuis été transféré au CFP, ce qui a mis fin à son étude.

Examen des questions et des préoccupations

A. Importance de la recherche sur les différents types d'impact

La demande de la part des aménagistes de méthodes et de données permettant de prévoir avec exactitude la production de matière ligneuse dans des peuplements et des forêts influencés par la tordeuse ne peut que s'accroître dans le futur. La planification de l'aménagement forestier et la prise de décisions à cet égard reposent en grande partie sur les prévisions de la productivité ou de la croissance et du rendement des forêts dans des secteurs donnés. Les dégâts causés par la tordeuse peuvent réduire radicalement la productivité des forêts et entraîner la perte de millions de mètres cubes de bois et doivent être pris en compte dans les prévisions de rendement. Il faut donc disposer de données pour quantifier les relations entre la défoliation, la perte de croissance et la mortalité.

En règle générale, les régions où les essences-hôtes de la tordeuse forment une composante majeure de la forêt et où l'équilibre entre l'offre et la demande de bois est précaire (c'est-à-dire les Maritimes, le Maine, Terre-Neuve et certaines parties du Québec) s'intéressent davantage aux études d'impact. Dans les Maritimes, l'industrie forestière et les organismes des gouvernements provinciaux ont fortement appuyé la recherche sur les différents types d'impact de Forêts Canada–Maritimes. De façon similaire, Forêts Canada et les organismes provinciaux et de l'industrie accordent une aussi grande priorité à ce type de recherche que les provinces des Prairies et Terre-Neuve. Le CFGL et le CFL accordent une moins grande priorité à la recherche sur les différents types d'impact, probablement parce que les industries de l'Ontario reposent moins sur le sapin baumier et que le gouvernement du Québec recueille ses propres données sur l'impact.

À l'heure actuelle, le CFL est le seul établissement régional de Forêts Canada qui ne soit pas doté d'un programme de recherche sur l'impact de la tordeuse ou d'un programme d'évaluation des dégâts. Le Comité d'examen est persuadé que le CFL, en collaboration avec le MER, devrait étudier les possibilités d'effectuer des recherches plus approfondies sur l'impact de la tordeuse au Québec. Une telle étude serait souhaitable parce qu'il est nécessaire de quantifier les effets de la défoliation causée par la tordeuse sur la croissance et le rendement pour une variété de conditions et qu'il serait utile que le CFL puisse participer à l'ensemble de l'effort de recherche en ce sens de Forêts Canada.

B. Coordination de la recherche de Forêts Canada sur les différents types d'impact

Le manque d'interaction des chercheurs travaillant sur les différents types d'impact dans les divers établissements de Forêts Canada a été relevé dans la plupart des régions, et il est par conséquent recommandé qu'un groupe de travail sur l'impact (évaluation des dégâts) soit créé (**Recommandation 4**). Un groupe de travail sur l'impact de la tordeuse a déjà existé mais a été aboli après l'avènement du programme CANUSA. Le groupe de travail recommandé devrait se composer de chercheurs et d'employés du RIMA et devrait être organisé de façon à avoir au moins des contacts périodiques avec les «utilisateurs» (employés du gouvernement provincial et de l'industrie). Le groupe de travail devrait compter des employés de chaque région de Forêts Canada et se pencher sur les effets des insectes et des maladies ayant une importance économique sur la croissance et le rendement. La

recherche sur l'impact de la tordeuse étant réellement un ensemble secondaire des activités sur la croissance et le rendement, ce groupe devrait entretenir des relations avec tout autre groupe de Forêts Canada menant des recherches sur la croissance et le rendement.

Les études sur l'impact de la tordeuse et la biologie des populations devraient être davantage intégrées grâce, par exemple, à l'organisation de rencontres simultanées des deux groupes de travail. De plus, les études sur l'impact de la tordeuse et la biologie des populations devraient se faire dans les mêmes placettes si possible.

C. Création d'un réseau de parcelles d'étude d'impact de Forêts Canada

En règle générale, il ne serait pas conseillé que Forêts Canada établisse un réseau de parcelles d'échantillonnage permanentes normalisées dans chaque région pour quantifier l'impact de la tordeuse. Il est coûteux de créer des placettes d'échantillonnage permanentes et d'y prendre des mesures de façon répétée; c'est pourquoi la création de telles placettes doit découler de besoins ou d'une utilisation donnés dans cette région en particulier. De plus, dans la mesure du possible, l'utilisation des placettes doit être coordonnée entre les diverses études et les autres organismes comme l'industrie ou le gouvernement provincial. Les entreprises conjointes auxquelles participent des chercheurs et des organismes d'aménagement, les «utilisateurs» ultimes de l'information, seront avantageuses pour les deux parties et devraient être fortement encouragées.

D. Orientations futures de la recherche sur les différents types d'impact

Le Comité d'examen était d'avis que le rôle précis joué par Forêts Canada dans l'estimation de l'épuisement de la ressource causé par les insectes et les maladies n'était pas clair et qu'il devrait être clarifié dans chaque région (**Recommandation 5**). Nous recommandons que le rôle de Forêts Canada se limite à l'élaboration de méthodes et de facteurs d'estimation des pertes pour différentes types de peuplement, scénarios de défoliation, etc., et ne comprennent pas la surveillance de l'ampleur de l'impact dans des régions données. De plus, Forêts Canada devrait accorder la priorité à des projets qui rallient et intéressent l'industrie et les organismes provinciaux.

Forêts Canada devrait s'attacher davantage à mettre au point des méthodes de prévision de la production de matière ligneuse dans des peuplements ou des forêts soumis à l'action de la tordeuse ainsi que de modèles de croissance des peuplements basés sur la défoliation. Ces travaux devraient être effectués en étroite collaboration avec les employés compétents des organismes utilisateurs pour s'assurer que les besoins de l'aménagiste sont pris en compte. Il est recommandé que se poursuive la collaboration entre Piene et Fleming (Forêts Canada–Maritimes et IRRF) en ce sens.

Les chercheurs s'entendaient presque tous sur les domaines à approfondir. La recherche sur l'impact de la tordeuse de Forêts Canada devrait être élargie, notamment dans les domaines suivants: (i) quantification des effets de la défoliation sur les essences d'épinettes, (ii) élaboration de modèles de croissance des peuplements basés sur la défoliation et de méthodes de prévision de la production de matière ligneuse et (iii) études des mécanismes par lesquels les arbres réagissent à la défoliation. Il est prioritaire d'obtenir de meilleures données sur l'impact de la tordeuse sur les essences d'épinettes, notamment l'épinette blanche dans les Prairies, l'épinette blanche et l'épinette noire dans la plupart des régions ainsi que l'épinette rouge au Nouveau-Brunswick et en Nouvelle-Écosse. Faisons, au passage, le lien avec la nécessité de se doter de meilleures techniques d'échantillonnage des épinettes. Des travaux détaillés corrélant la croissance à la biomasse foliaire ainsi que sur la défoliation devraient être menés dans au moins une région et plusieurs études devraient être effectuées dans différentes régions pour obtenir divers scénarios de défoliation, de conditions de peuplement et de station. Il est important de s'arrêter davantage à l'impact sur la «nouvelle forêt» (plantations, peuplements éclaircis, etc.) qui forme une composante de plus en plus importante de la forêt à chaque

année. Les études détaillées sur les différents types d'impact devraient se dérouler à un niveau plus mécaniste qu'auparavant afin de fournir des données sur la façon dont les arbres réagissent à la défoliation; il faudra peut-être étudier les effets de la défoliation sur la physiologie de l'arbre, la qualité du feuillage, la production de radicelles, etc. En règle générale, on encouragera l'exécution d'autres travaux sur la qualité du feuillage, travaux qui devraient être intégrés étroitement avec les études de Forêts Canada portant sur la biologie des populations.

Le Comité a remarqué que relativement peu de recherches sur la détérioration des arbres morts, sur les déprédateurs secondaires et les maladies et sur le pourridié Armillaria sp. se déroulent à l'heure actuelle au sein de Forêts Canada et il préconise que des travaux plus approfondis soient effectués dans ces domaines. Compte tenu de l'ampleur de l'épuisement des ressources forestières causé par les insectes et les maladies, les recherches sur la détérioration et en pathologie générale ne reçoivent probablement pas la quantité d'efforts qu'elles méritent.

E. Ressources nécessaires à l'achèvement des études d'impact du Centre de foresterie de Terre-Neuve

À Terre-Neuve, l'infestation de la tordeuse des bourgeons de l'épinette s'est effondrée en 1981 et les populations y sont restées faibles. Forêts Canada a investi énormément dans la création de 100 placettes d'échantillonnage permanentes et la prise de mesures annuelles dans le cadre de deux études d'impact du CFT-N (NE-2711 Raske et Dobesberger et NE-2714 Meades). Aucune ressource n'a été allouée aux activités de récolte, d'analyse de la croissance et de remesurage des placettes qui avaient été prévues pour 1984-1985 en raison de l'ordre de priorité de cette région. Il est important que les arbres soient bientôt abattus parce que plus le temps passe, plus les facteurs externes influençant le développement des peuplements-échantillons seront nombreux; dans le cas contraire, la majeure partie des efforts déjà déployés seront gaspillés tout comme seront perdues de précieuses données sur l'impact de la tordeuse. Le Comité recommande que le CFT-N alloue en priorité des ressources aux études NE-2711 et NE-2714 pour que puissent être complétées les activités prévues de remesurage et d'analyse des placettes d'échantillonnage existantes le plus tôt possible (**Recommandation 6**).

F. Impact sur la régénération et la succession végétale

Les études de Forêts Canada–Maritimes et du CFT-N relatives à l'impact de la tordeuse des bourgeons de l'épinette sur la régénération et la succession végétale (Huot et Meades) ont jusqu'ici porté exclusivement sur des épisodes «d'infestation naturelle» incontrôlée, qui sont l'exception plutôt que la règle dans de nombreuses régions. Les données ainsi obtenues, quoique valables en elles-mêmes, ne sont pas utiles pour prévoir la régénération et le développement des peuplements influencés par une combinaison de défoliation, de pulvérisations et de travaux d'exploitation. Le CFT-N ne prévoit pas effectuer d'autres travaux dans ce domaine. Toutefois, l'étude MC-04-201 de Forêts Canada–Maritimes (Huot) pourrait être élargie pour déterminer les effets de la défoliation causée par la tordeuse et des activités de récolte sur la régénération ainsi que la réaction à une coupe rase. Ainsi, des parcelles pourraient être choisies dans des peuplements ayant des scénarios de défoliation différents (historique des pulvérisations) et des conditions stationnelles diverses, et la régénération pourrait être évaluée avant et après la récolte pour quantifier les effets de la défoliation et de l'exploitation sur le développement du peuplement après une coupe. En règle générale, on dispose d'un plus grand nombre de données sur l'impact de la tordeuse sur la régénération et la succession végétale dans les peuplements de sapins que dans les peuplements mélangés d'épinettes ou d'épinettes-de sapins; des études plus approfondies devraient porter plus particulièrement sur ces derniers types de peuplements.

Chapitre 5. Recherche sur la lutte contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette

Introduction

Malgré la gravité périodique des dégâts causés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette et l'ampleur des opérations de lutte contre ces populations dans l'est du Canada, on dispose de très peu de solutions pour réprimer ce ravageur forestier. Plusieurs raisons expliquent cette situation. L'irrégularité des programmes de lutte contre les ravageurs au cours des dernières années et l'adoption de plus en plus répandue de *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki* (*B.t.*) ne favorisent pas la recherche et le développement en vue de la commercialisation de nouvelles substances insecticides. De plus, le public s'inquiète constamment de l'impact de ces insecticides sur les organismes non visés, et de nombreuses compétences n'ont pas la volonté politique pour défendre leur programme de lutte en regard des préoccupations environnementales. Ce sont là des facteurs d'ordre économique et environnemental qui sont toutefois subordonnés au fait que la protection des forêts contre la tordeuse a essentiellement portée sur la conservation des arbres plutôt que sur l'élaboration d'un programme de répression des ravageurs pendant toute la durée du développement d'un peuplement forestier et du cycle biologique de la tordeuse. Il ne faut pas s'en surprendre, compte tenu de l'ampleur et de la durée de la dernière infestation, mais le fait est que la répression de la tordeuse des bourgeons est uniquement pratiquée en situation de crise. Lorsque des mesures sont enfin prises, le problème est si grave que les opérations de lutte à grande échelle sont inévitables. Il faut donc avoir recours à des applications aériennes et à grande échelle d'insecticides. Bien qu'il ait été démontré que les insecticides actuellement homologués, le fénitrothion et le *B.t.*, soient efficaces, les préoccupations du public au sujet de leur utilisation à grande échelle et la difficulté de mettre au point et d'homologuer de nouveaux insecticides pour usage en forêt et les coûts qui s'ensuivent menacent de restreindre davantage les options s'ouvrant à la lutte contre les ravageurs. Nous avons non seulement besoin de nouvelles options mais également de nouvelles stratégies qui prennent en compte ces options afin d'élaborer une approche intégrée et diversifiée à la répression de la tordeuse.

La répartition de la recherche sur la répression des ravageurs sous les catégories de lutte chimique ou de lutte biologique pèche par simplisme et est politiquement contestable. Jusqu'ici, le public a surtout manifesté son opposition à l'égard des produits chimiques organiques traditionnels, et les politiciens n'ont réagi qu'à ce niveau. On comprend donc que certains chercheurs ont eu tendance, quand il le pouvaient, à identifier leurs recherches comme des recherches portant sur la lutte biologique (c'est-à-dire *non pas* sur la lutte chimique). D'autres chercheurs, notamment ceux se penchant sur la lutte nettement biologique dans son sens le plus restreint (c'est-à-dire l'utilisation des ennemis naturels contre les populations de ravageurs) soutiennent que l'élargissement de la définition de la lutte biologique peut faire perdre au terme tout son sens. La définition des deux groupes ne concorde pas en raison de l'avancement des connaissances sur les processus biologiques et de la venue de nouveaux produits comme le *B.t.* et les régulateurs de croissance des insectes, désaccord qui soulève une controverse sérieuse quant à la nature véritable de la lutte biologique.

Pour fin de discussion, nous avons structuré le présent chapitre en groupant les programmes dont les méthodes de recherche et les connaissances d'experts ont tendance à être similaires. Dans le cadre du présent résumé, nous avons identifié les trois types suivants de lutte contre la tordeuse:
(1) Lutte chimique–insecticides chimiques conventionnels
(2) Lutte biochimique–phéromones (celles utilisées dans la lutte) et régulateurs de croissance des insectes
(3) Lutte biologique–entomopathogènes (y compris le *B.t.*), prédateurs et parasitoïdes.

L'utilisation de la plupart des substances répressives compotre des techniques similaires de formulation, d'application et d'évaluation de l'efficacité. Une section sur la technologie de l'application traite séparément de ces questions habituelles. Le présent chapitre comprend également

une section sur l'impact environnemental des opérations de lutte. Jusqu'ici, les études de Forêts Canada ont principalement porté sur l'impact des insecticides chimiques sur l'environnement, mais il est vraisemblable que toutes les activités de répression de la tordeuse, y compris l'absence totale de mesures, pourront éventuellement se prêter à une évalution de l'impact environnemental.

Recherche sur la lutte chimique contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette

Historique

Sous la rubrique des moyens de lutte chimique, nous nous penchons sur l'étude des facteurs qui affectent la toxicité de l'ensemble des insecticides conventionnels à large spectre d'action. Ils continueront d'être d'importants outils de répression lors des infestations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette dans un avenir immédiat. La recherche sur la lutte chimique porte notamment sur la sélection d'insecticides en fonction de leur toxicité et effectue des essais pour évaluer les nouvelles substances à pulvériser. De plus, elle recueille des données sur le comportement des larves dans leur micro-habitat pour aider à comprendre l'efficacité au champ de l'insecticide et pour obtenir des lignes directrices en vue de l'amélioration des stratégies de pulvérisation.

État actuel de la recherche sur la lutte chimique

L'effort de recherche de Forêts Canada sur la lutte chimique contre la tordeuse a diminué à mesure qu'augmentait l'utilisation du *B.t.* À notre avis, seulement deux études de Forêts Canada entrent dans cette catégorie de recherche: celle de Helson à l'IRRF et celle de Nigam à Forêts Canada–Maritimes (tableau 4). Un très grand nombre d'autres activités de Forêts Canada, notamment à l'IRRF, sont consacrées à la lutte chimique contre d'autres insectes et aux techniques d'application des insecticides pour lutter contre la tordeuse. Une autre section du présent chapitre traite de ce sujet. Les travaux sur la lutte chimique contre la tordeuse effectués à Forêts Canada–Maritimes comprennent les études sur le terrain qui permettent d'obtenir des données sur le comportement de la tordeuse dans sa niche écologique (Nigam). Leur objectif est de déterminer comment la température prévalant après la pulvérisation et le comportement de la tordeuse influencent l'efficacité des méthodes de lutte. À l'IRRF, la recherche sur la lutte chimique contre la tordeuse change actuellement sans arrêt. Il existe très peu de produits chimiques sur le marché et la production de certains est arrêtée parce que leur rapport coût/efficacité est trop faible pour le producteur. Malgré tout cela, l'IRRF est toujours doté de sa capacité de sélection des insecticides contre la tordeuse et fournit les renseignements nécessaires à l'homologation (Helson).

Recherche sur la lutte biochimique contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette

Historique

La recherche sur la lutte biochimique de Forêts Canada comprend des travaux sur les phéromones, ces substances sécrétées par les insectes qui agissent à l'époque de la reproduction, et les régulateurs de croissance des insectes, des substances chimiques qui interviennent lors de phénomènes particuliers aux insectes, comme la chrysalidation et la mue. Ces produits biochimiques sont étudiés dans le cadre du présent rapport en raison de leur potentiel d'utilisation comme agent de lutte contre certains insectes.

Les régulateurs de croissance des insectes sont similaires aux agents de lutte chimique classiques quant à leur utilisation projetée et à leur application à la lutte contre la tordeuse (par exemple protection du feuillage par la réduction du nombre de larves qui s'y alimentent). Les phéromones utilisées pour lutter contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette sont différentes parce qu'elles ne protègent pas le feuillage au cours de l'année même de l'application. Elles ont pour effet de perturber le comportement sexuel normal et la reproduction et de faire diminuer le nombre d'insectes faisant partie de la génération suivante. Leur rôle est donc limité, du moins au cours de l'année même de l'application, à la diminution des populations.

Tableau 4. Sommaire des projets de recherche de Forêts Canada sur la lutte chimique contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette. (Le tableau 7 porte sur les techniques d'application et la recherche sur l'efficacité au champ)

			Ressources de 1987-1988[a]		
Étude	Chef	Sujet	A.-p. permanentes	A.-p. occasionnelles[b]	F&E $
FP-50-1	Helson	Sélection d'insecticides	1,0	0,05	2 200
MC-04-195	Nigam	Comportement de la tordeuse et efficacité des pulvérisations	2,0	0,9	33 500

[a] Les ressources sont allouées en proportion du pourcentage de travaux sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette.
[b] Les années-personnes occasionnelles comprennent celles allouées pour les étudiants, converties sur une base annuelle.

État actuel de la recherche sur la lutte biochimique

Le tableau 5 résume les études de Forêts Canada qui portent sur la lutte biochimique contre la tordeuse et énumère les ressources qui leur ont été allouées pour 1987-1988. L'IRRF et le CFGL effectuent les recherches de Forêts Canada sur l'utilisation de phéromones sexuelles comme agent de lutte. Grand (IRRF) effectue des recherches sur le rôle des phéromones sexuelles dans le comportement de papillons vivant dans des régions limitées. Sanders (CFGL) mène des essais en soufflerie devant servir à rendre la perturbation plus efficace et participe à des essais sur le terrain à petite échelle. Le vaste programme d'essais sur le terrain mené par Seabrook et associés (Université du Nouveau-Brunswick) est la raison pour laquelle Forêts Canada n'y participe pas davantage. Il ne dispose pas non plus des experts nécessaires pour effectuer les analyses chimiques des substances des phéromones, champ de recherche de Silk et associés (Conseil de la recherche et de la productivité du Nouveau-Brunswick). Les formulations spécialisées et les techniques nécessaires pour l'épandage aérien des phéromones et la plus ou moins grande efficacité obtenue jusqu'ici sur le terrain rendent difficile l'évaluation de l'utilisation opérationnelle éventuelle des phéromones à l'heure actuelle.

Retnakaran a sélectionné plusieurs nouveaux composés de régulateur de croissance des insectes à utiliser contre la tordeuse. Parmi les travaux complémentaires, mentionnons les études en laboratoire de la physiologie de la tordeuse et du mode d'action de ces régulateurs de croissance des insectes. L'innocuité de certains régulateurs de croissance des insectes, mise en doute auparavant, a été établie de façon satisfaisante. Certaines industries se sont donc davantage intéressées et ont participé financièrement à la mise au point et à l'homologation pour usage en forêt de régulateurs de croissance des insectes. Il faudra toutefois attendre quatre ou cinq ans avant que les régulateurs de croissance des insectes ne soient homologués pour usage opérationnel contre la tordeuse.

La plupart des recherches en lutte biochimique contre la tordeuse de Forêts Canada se composant d'études en laboratoire, le déclin des populations locales de la tordeuse ne devrait pas

perturber ces recherches dans un avenir immédiat. Mais lorsque ces agents de lutte biochimique seront prêts à être mis à l'essai sur le terrain, il faudra peut-être aller beaucoup plus loin vers des régions où se trouvent de fortes densités de population.

Recherche sur la lutte biologique contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette

Historique

Nous définissons la lutte biologique comme l'utilisation directe d'organismes vivants pour maintenir à un niveau donné ou réduire l'abondance des ravageurs forestiers, dans le cas présent, la tordeuse des bourgeons de l'épinette. La recherche sur la lutte biologique comprend toutes les études destinées à comprendre la biologie et l'écologie des agents nuisibles naturels et, en particulier, la recherche qui tente de manipuler les caractères biologiques des agents nuisibles pour obtenir une lutte plus efficace. Ces agents nuisibles naturels comprennent les agents pathogènes microbiens comme les champignons, les bactéries, les protozoaires et les virus, ainsi que les nématodes, les insectes parasites (parasitoïdes) et les prédateurs vertébrés et invertébrés. D'autres activités comme la stérilisation des mâles, les manipulations génétiques et l'amélioration de la résistance de la plante-hôte sont souvent considérées comme des outils de lutte biologique. Toutefois, aucun des programmes de recherche examiné par le Comité ne portaient sur ces derniers domaines.

Tableau 5. Sommaire des études de Forêts Canada sur la lutte biochimique contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette

			Ressources de 1987-1988[a]		
Étude	Chef	Sujet	A.-p. permanentes	A.-p. occasionnelles[b]	F&E $
FP-30-1	Bourse	Identification de phéromones	0,2	0,05	500
FP-31	Retnakaran	Homologation de régulateurs de croissance des insectes	0,6	0,1	2 400
GLC-32-013	Sanders	Perturbation de l'accouplement	0,4	0,4	5 000

[a] Les ressources sont allouées en proportion du pourcentage de travaux sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette.
[b] Les années-personnes occasionnelles comprennent les années-personnes allouées pour les étudiants, converties sur une base annuelle.

Les visées de la lutte biologique peuvent être regroupées dans cinq grandes classes différentes: (1) la localisation des ennemis naturels, (2) l'importation et la quarantaine, (3) la sélection et l'élevage d'individus porteurs de gènes létaux, (4) les lâchers stratégiques et (5) la surveillance. Chacun de ces domaines est examiné brièvement ci-dessous.

Localisation, identification et description des ennemis naturels - La localisation des sources d'êtres vivants peut être effectuée au Canada par Forêts Canada ou à l'extérieur du pays grâce à une collaboration avec d'autres organismes comme l'Institut du Commonwealth pour la lutte biologique (ICLB) ou le USDA Forest Service (Service des forêts du Département d'agriculture des États-Unis). On peut ici prendre en compte la disponibilité sur le marché d'agents de lutte biologique comme le *B.t.*

et le parasitoïde des œufs *Trichogramma minutum*. Des experts de la discipline appropriée doivent identifier ou décrire les organismes vivants qui sont trouvés afin de s'assurer de l'exactitude de l'identité des organismes qui sont lâchés. Au Canada, le Centre de recherches biosystématiques est le principal responsable de cette activité, et un employé du RIMA y a été détaché à cette fin (Yoshimoto). Certains établissements de Forêts Canada comptent des experts sur certains organismes, comme les microbes.

Importation et quarantaine - L'importation des ennemis naturels incombe en grande partie aux chercheurs. L'expédition d'organismes vivants doit tout d'abord être sanctionnée par l'Unité de lutte biologique (Agriculture Canada) et peut être soumise à certaines exigences de la Division de la quarantaine des plantes.

Élevage: multiplication et manipulations génétiques d'individus - Ce groupe comprend bon nombre des activités de Forêts Canada en matière de lutte biologique parce que la mise à l'essai et l'expérimentation précède la plupart des programmes de lutte biologique et qu'il faut un niveau de compétence élevé pour multiplier les individus. Bien que la production du *B.t.* se fasse maintenant sur une base commerciale, la production en masse d'autres agents pathogènes est encore au stade de la recherche et incombe donc à Forêts Canada. Qui dit élevage, dit contrôle de la qualité et possiblité d'améliorer le matériel grâce à de nouvelles technologies comme la recombinaison génétique.

Lâchers stratégiques - L'application d'agents microbiens se préoccupe surtout des techniques de pulvérisation, bien que les doses recommandées et les stratégies concernant l'endroit et le moment des pulvérisations présupposent des données biologiques et écologiques. Le lâcher de prédateurs et de parasitoïdes fait peu appel aux techniques de pulvérisation et, par conséquent, les lâchers ne sont effectués que par les chercheurs s'intéressant à la lutte biologique.

Surveillance - À la suite des lâchers, il faut effectuer des études approfondies à l'aide de méthodes quantitatives pour déterminer l'impact et l'acclimatation de l'agent naturel libéré dans la nature.

État actuel de la recherche sur la lutte biologique

La recherche sur la lutte biologique contre la tordeuse de Forêts Canada comprend des travaux sur six catégories d'organismes: le *B.t.*, les champignons, les protozoaires, les virus, les nématodes et les prédateurs et les parasitoïdes. Nous examinerons chacune de ces catégories. Le tableau 6 résume les études menées à ce sujet et les ressources qui leur ont été allouées en 1987-1988.

B.t. - Le *B.t.* fait l'objet de nombreuses recherches car il est maintenant utilisé de façon opérationnelle et à grande échelle. De grandes améliorations ont été apportées à sa formulation, à sa concentration et à son application. Forêts Canada a joué un rôle important dans la mise sur pied du réseau biocide qui est un groupe actif de chercheurs se penchant sur les façon d'améliorer le *B.t.* et d'utiliser les approches biotechnologiques pour mettre au point de nouveaux pesticides améliorés à partir des protéines crystallines du *B.t.* Fast poursuit ses travaux sur la détermination des caractéristiques biochimiques des toxines du *B.t.* et sur la sélection de différentes variantes pouvant avoir de l'effet. Bien que Fast ait récemment pris sa retraite, un technicien (Milne), actuellement en congé d'éducation à l'Université Laurentienne en vue de l'obtention d'une maîtrise en sciences et, probablement, d'un doctorat ayant rapport avec la recherche biotechnique sur le *B.t.*, pourrait éventuellement poursuivre l'étude. Des techniques immunologiques comme les anticorps monoclonaux sont actuellement mises au point (Pang) pour aider à identifier les souches les plus efficaces de *B.t.* et permettre d'estimer leur toxicité. Ces méthodes seront extrêmement utiles à la prolifération de souches commerciales de *B.t.* Certaines études sur les interactions entre le *B.t.* et ses hôtes se déroulent également (van Frankenhuyzen). Ces progrès de la recherche sur le *B.t.* ne visent toutefois pas nécessairement la tordeuse ou même des ravageurs forestiers. Bien que ces principes soient de toute évidence applicables aux activités futures de lutte contre la tordeuse, il semble que la recherche sur le *B.t.* effectuée au

cours des prochaines années par des intérêts commerciaux et, dans une certaine mesure, au sein de Forêts Canada, ne portera pas exclusivement sur la tordeuse.

Champignons - La recherche sur les champignons entomogènes affectant la tordeuse mettait auparavant l'accent sur la lutte biologique; elle se préoccupe maintenant davantage de comprendre les processus biologiques et écologiques intervenant dans les relations entre la tordeuse et les champignons. Ce changement d'orientation a été amené par l'intégration accrue de la pathologie des insectes et de la recherche sur la dynamique des populations. On pense maintenant qu'il faut effectuer des études d'une nature plus fondamentale avant de pouvoir élaborer un programme de lutte biologique judicieux. Une autre condition essentielle sera de mettre au point des techniques permettant de produire en quantité suffisante des champignons à introduire sur le terrain chez les populations de la tordeuse.

Tableau 6. Sommaire des études de Forêts Canada sur la recherche relative à la lutte biologique contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette

			Ressources de 1987-1988[a]		
Étude	Chef	Sujet	A.-p. permanentes	A.-p. occasionnelles[b]	F&E $
NE-2802	Lim	Nématodes entomogènes	0,1	0,0	500
MC-04-217	Strongman	Relations entre la tordeuse et les champignons	0,0	0,3[c]	750
LFC-2105	Perry	Pathologie des insectes	1,0	0,1	13 500
LFC-2234	Valéro	Pathologie des insectes	1,5	0,0	8 000
FP-10-1	Fast	Chimie du *B.t.* et mode d'action	0,6	0,0	1 800
FP-10-2	van Franken-huyzen	Agents pathogènes bactériens	0,5	0,25	2 500
FP-13-1	Arif	Virus	1,6	1,0	6 000
FP-22	Panf	Immunochimie des pathogènes	1,8	1,0	6 800
FP-11	Tyrrell	Agents pathogènes fongiques	1,2	0,0	2 500
FP-40-3	Wilson	Microsporidies	0,1	0,0	100
FP-23	Fleming	Prévision du développement des agents pathogènes	0,3	0,0	500
GL-32-162	Wallace	Mise au point de moyens de lutte biologique	0,25	0,25	4 000
GL-32-153	Nealis	Parasites de la tordeuse	0,5	0,25	2 500

[a] Les ressources sont allouées en proportion du pourcentage de travaux sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette.
[b] Les années-personnes occasionnelles comprennent les années-personnes allouées pour les étudiants, converties sur une base annuelle.
[c] Cette étude est effectuée dans le cadre d'une bourse de recherches postdoctorales (salaire de 25 000 $ provenant du budget de F&E), qui devrait prendre fin en 1988.

Des études de la pathologie des insectes sont maintenant associées à chacune des études des populations effectuées en Ontario (Tyrrell, Nealis), au Québec (Perry), au Nouveau-Brunswick (Strongman) et à Terre-Neuve (Lim). L'effort de recherche et l'assiduité dans le temps varient toutefois énormément d'une région à l'autre. À l'heure actuelle, c'est au Québec que l'effort de recherche est le plus intense (Perry). Au Nouveau-Brunswick, les travaux sont effectués dans le cadre d'une bourse de recherches postdoctorales (Strongman) et sont donc temporaires, et la recherche a diminué énormément en Ontario et à Terre-Neuve au cours des trois dernières années, au fil des changements de personnel et de programmes.

Ces études accordent une importance primordiale à la création d'une banque d'isolats fongiques provenant de relevés approfondis des populations de la tordeuse (Perry, Strongman). L'intérêt se porte vers les différences que présentent les caractères critiques de ces isolats, notamment vers les conditions environnementales favorisant la germination des spores de réserve (Perry) et la modélisation du développement des agents pathogènes (Fleming). La question des conditions provoquant la germination des spores de réserve est la clé de la lutte biologique à l'aide de champignons entomogènes. Quand il sera possible de manipuler la formation et la germination des spores de réserve, les techniques actuelles de fermentation pourront être appliquées à la production en masse de champignons pathogènes.

Protozoaires - La recherche sur l'utilisation directe de protozoaires pour lutter contre la tordeuse a pris fin en même temps que la seule étude de Forêts Canada qui se penchait tout particulièrement sur les agents pathogènes protozoaires (FP-40-3). Le responsable de cette défunte étude (Wilson) a continué d'apporter son aide à l'étude sur la dynamique des populations de l'Ontario (Lysyk, Nealis). Certaines études sur les populations s'intéressent toujours au rôle des agents pathogènes protozoaires dans les populations naturelles de la tordeuse, mais aucune nouvelle étude n'est prévue.

Virus - Pendant les années 70, des essais de pulvérisation à grande échelle de quatre types différents de virus ont été effectués pour lutter contre la tordeuse. On en est venu à la conclusion que l'utilisation des virus pour lutter efficacement contre la tordeuse était loin d'être simple. L'inégalité des résultats obtenus a été attribuée à plusieurs facteurs, dont le mode inefficace de transmission des virus au sein des populations de la tordeuse et les interactions entre les virus et les autres agents pathogènes. Les chercheurs ont estimé que l'approche la plus prometteuse consistait à véritablement revenir à des études plus fondamentales en laboratoire, même si les progrès réalisés en matière de production et de formulation de virus pouvaient en améliorer l'efficacité. Les essais sur le terrain qui pourraient être réalisés devraient être faits à petite échelle. Le développement rapide de nouvelles technologies de biologie moléculaire qui peuvent permettre la manipulation du génome viral et la production de nouveaux recombinants plus virulents viennent à l'appui de cette prise de position. Arif, de l'IRRF, a adopté une telle approche pour les virus de la tordeuse. Malgré le déclin actuel des populations de la tordeuse, ses activités de recherche se poursuivront car cet insecte est un organisme se prêtant bien à des recherches fondamentales en laboratoire.

Les chercheurs du CFL ont observé l'apparition d'une nouvelle entité virale provenant de l'introduction de deux virus chez la tordeuse et ils sont persuadés qu'elle est fort prometteuse (Valéro). Ils ne savent pas encore si cette nouvelles entité est un recombinant plus virulent ou si la pathogénicité est le résultat du synergisme. Malgré cet inconnu, des essais au champ ont été effectués en 1987.

Nématodes - Peu de travaux ont porté sur l'utilisation de nématodes comme agent de lutte biologique contre la tordeuse. Des études effectuées en laboratoire à l'Université Memorial de Terre-Neuve ont établi que certains nématodes étaient capables d'infecter les premiers stades larvaires de la tordeuse, mais ils ont conclu qu'il était peu probable que les nématodes soient efficaces dans des conditions opérationnelles. Une étude sur les nématodes entomogènes se poursuit activement à Forêts Canada (Lim), mais la tordeuse n'en est pas la principale cible. À Forêts Canada–Maritimes, Eidt a proposé de tirer avantage des nouveaux laboratoires ainsi que de la présence d'unités de production canadiennes

et de la compétence en matière de nématodes entomophiles y existant pour entreprendre une nouvelle étude de la lutte contre la tordeuse à l'aide d'un groupe différent de nématodes qui avait été utilisé précédemment. La mise au point de nouvelles formulations pourrait aider à surmonter les problèmes associés à l'utilisation d'un organisme essentiellement édaphique dans un milieu arborescent. Eidt, qui doit prendre sa retraite dans trois ans, devrait pouvoir avoir le temps d'évaluer adéquatement la faisabilité d'une telle approche.

Prédateurs et parasites - La majeure partie des activités de recherche sur l'utilisation de prédateurs comme outils de lutte biologique contre la tordeuse ont porté sur les arthropodes. On s'est également beaucoup intéressé aux oiseaux et, dans une moindre mesure, aux fourmis, comme prédateurs des tordeuses, mais surtout du point de vue de la biologie des populations. Aucun effort n'est actuellement déployé pour accroître le nombre de prédateurs de la tordeuse et en faire une stratégie de lutte biologique.

Les parasitoïdes des insectes ont retenu davantage l'attention comme agent de lutte biologique. Leur rôle dans la dynamique des populations de la tordeuse fait actuellement l'objet d'une étude intensive et ces travaux formeront la base des stratégies futures de lutte biologique.

Les efforts déployés dans le domaine des parasitoïdes se font selon deux grandes méthodes différentes: les lâchers d'inoculation et les lâchers massifs. La stratégie dite de lâcher d'inoculation est l'approche classique qui consiste à introduire de nouveaux ennemis naturels dans des populations. Quelques lâchers de faible envergure ont été effectués dans des populations de la tordeuse au cours des 40 dernières années et les résultats n'ont pas été encourageants. L'approche utilisée actuellement consiste à tenter de créer de nouvelles associations hôte-parasitoïde en mettant à l'essai des parasitoïdes étrangers de défoliateurs étroitement apparentés contre la tordeuse, à mettre au point des méthodes de multiplication des individus avant le lâcher et à effectuer des lâchers conjointement aux études des populations en cours. La nomination d'un entomologiste forestier (Mills) à l'Institut du Commonwealth pour la lutte biologique à Delemont, Suisse, facilite la collecte de matériel génétique de parasitoïdes d'Europe. Ces nouveaux parasitoïdes sont mis à l'essai contre la tordeuse au Canada (Nealis). Jusqu'ici, une espèce de parasitoïde (*Apanteles murinanae*) a pu être élevée avec succès sur des tordeuses, et la faisabilité d'un programme d'élevage en masse a été démontré. La sélection d'autres parasitoïdes se poursuit.

La stratégie des lâchers massifs consiste à libérer dans la nature un grand nombre de parasitoïdes élevés en laboratoire pour améliorer les populations naturelles existantes de parasitoïdes. Forêts Canada (Wallace) en collaboration avec deux universités de l'Ontario et les ministères des Richesses naturelles et de l'Environnement de cette même province ont financé un programme récent ayant recours aux parasitoïdes de l'œuf, *Trichogramma minutum*. L'étude proposée originalement étant complétée et les résultats devant être publiés sous peu, les recherches futures sur *Trichogramma* s'orienteront dans deux directions. La faculté de foresterie de l'Université de Toronto mène des projets qui mettent en relief les aspects opérationnels permanents des lâchers massifs de *Trichogramma*. Les chercheurs de Forêts Canada, quant à eux, estiment qu'il faut se pencher sur les limitations plus fondamentales de l'approvisionnement et de la qualité de *Trichogramma* plutôt que sur le perfectionnement des aspects opérationnels. Ils s'intéressent donc actuellement aux méthodes de production en masse et à l'évaluation de la qualité des souches de *T. minutum* (Wallace). Nealis a récemment démontré qu'il était possible de produire en quantité quasi-industrielle un deuxième parasitoïde naturel de la tordeuse (*Apanteles fumiferanae*), mais aucun lâcher massif n'est prévu à l'heure actuelle.

Recherche sur les techniques d'application des insecticides

Historique

La recherche sur les techniques d'application des insecticides comporte l'étude des facteurs affectant les propriétés physiques de la bouillie et son efficacité sur le terrain. Bon nombre des méthodes d'étude de l'efficacité au champ sont les mêmes que pour les insecticides chimiques, que pour certains insecticides biochimiques (régulateurs de croissance des insectes) et que pour certains insecticides biologiques (*B.t.*). Par souci de commodité, nous avons donc regroupé toutes les activités de recherche sur la lutte concernant ces méthodes de vérification de l'efficacité sur le terrain dans la présente section. Les diverses activités de la recherche sur les techniques d'application peuvent être divisées en deux grandes catégories:

(1) **La recherche sur les propriétés physiques,** qui vise à améliorer l'atteinte par les pulvérisations des territoires visés, à accroître la persistance de l'ingrédient actif sur le feuillage et à réduire la dérive afin que les doses soient plus faibles et que les zones de retombée soient plus petites. Elle porte sur le matériel d'application, les tactiques et les formulations.

(2) **La recherche sur l'efficacité sur le terrain,** qui vise à fournir des données sur l'efficacité et les stratégies d'utilisation de divers produits chimiques de lutte contre la tordeuse sur le terrain. Elle étudie de plus les effets de la température ultérieure au traitement sur l'efficacité du pesticide pour obtenir des données de base permettant de suggérer des améliorations à apporter aux stratégies de pulvérisation et aux formulations. Elle constitue le stade final des essais avant qu'un nouvelle substance ou stratégie soit jugée apte à être homologuée et utilisée de façon opérationnelle.

État actuel de la recherche sur les techniques d'application

Les efforts de recherche sur les techniques d'application de Forêts Canada se sont orientés vers les insecticides biologiques. La recherche sur les agents de lutte chimique traditionnels continuera probablement de diminuer davantage, à mesure que les niveaux de population déclineront dans de vastes régions, que des arrosages moins nombreux seront nécessaires et que des insecticides chimiques seront progressivement retirés du marché dans plusieurs territoires. De plus, les faibles densités locales des populations de la tordeuse pourront forcer les équipes de recherche à effectuer des voyages coûteux dans des régions éloignées pour y trouver les niveaux de population plus élevés nécessaires pour évaluer l'efficacité par des essais sur le terrain. Les contraintes budgétaires imposées à Forêts Canada devraient également faire diminuer les essais sur le terrain tout comme la tendance qu'ont certaines provinces (par exemple l'Ontario) à limiter sévèrement les pulvérisations expérimentales.

La recherche de Forêts Canada sur les techniques d'application d'insecticides pour lutter contre la tordeuse est concentrée à l'IRRF (4,5 années-personnes, budget de F&E de 17 000 $) et à Forêts Canada–Maritimes (2,6 années-personnes, 18 000 $), le CFGL, le CFL et le CFT-N ayant chacun leur propre étude. Le tableau 7 énumère les études de Forêts Canada sur les techniques d'application liées à la lutte contre la tordeuse et les ressources dont elles disposaient en 1987-1988. La majeure partie de cette recherche, notamment à l'IRRF, est applicable à un insecte ou à un autre: un même produit chimique, une même technique d'application. Il est donc difficile dans certains cas de déterminer les ressources consacrées particulièrement à la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

Chaque laboratoire contribue à sa façon à l'effort de recherche sur les techniques d'application de Forêts Canada. Le CFGL, le CFL et le CFT-N se consacrent à l'efficacité des pulvérisations. Au CFGL, Meating effectue des évaluations sur le terrain de nouvelles substances, surtout des insecticides biologiques, et recueille des données pour améliorer la période d'application. Valéro (CFL) et Raske (CFT-N) participent tous deux à des essais sur le terrain de divers types d'adhésifs et de supports pour les pulvérisations de *B.t.* Valéro prévoit poursuivre ses travaux sur les adhésifs du *B.t.* dans un futur proche, mais ses plans à plus long terme prévoient des pulvérisations expérimentales

sur le terrain des nouveaux virus qui seront produits au cours de son étude. Au CFT-N, Raske continuera d'expérimenter des supports de pulvérisation dans le cadre du programme de pulvérisations expérimentales dans la mesure où des ressources lui seront allouées pour la recherche sur la répression des ravageurs. Il faudra améliorer la coordination et la communication entre ces laboratoires et l'IRRF et Forêts Canada–Maritimes où la majeure partie de la recherche sur les techniques d'application de Forêts Canada est menée.

Les travaux en cours à Forêts Canada–Maritimes sur les techniques d'application dans le cadre de la lutte contre la tordeuse s'attachent à l'étude des mécanismes permettant de déterminer l'efficacité du traitement. Des études sur le terrain effectuées en collaboration avec le groupe de recherche sur l'efficacité des pulvérisations du Nouveau-Brunswick (N.-B. SERG) fournissent des données sur la répartition des dépôts de fénitrothion et sur la période d'application (Kettela et Eidt). L'objectif est de déterminer les effets de la température prévalant après le traitement sur le dépôt du produit pulvérisé, sur la vulnérabilité de la tordeuse et sur l'efficacité de méthodes de lutte. Kettela effectue également des essais sur le terrain pour évaluer de nouvelles stratégies et tactiques de lutte (par exemple à l'aide d'hélicoptères pour protéger les peuplements de grande valeur).

L'état actuel de la recherche sur les techniques d'application effectuées à l'IRRF est incertain. Des décisions prises par le ministère des Richesses naturelles de l'Ontario en 1987 ont forcé Cadogan à annuler ses essais d'évaluation de l'efficacité dans le nord de l'Ontario et à travailler à des études sur les interactions de la tordeuse et de l'arbre hôte. Cadogan sera peut-être obligé, à cause des interdictions futures des essais sur le terrain des insecticides chimiques en Ontario, à effectuer ses essais dans d'autres provinces, malgré les coûts supplémentaires que cela occasionnera. Le nombre limité de nouveaux produits chimiques a fait mettre l'accent sur l'essai au champ du *B.t.* sur le terrain.

Le déclin des populations de la tordeuse a déjà provoqué un changement d'orientation de la recherche sur les techniques d'application effectuées à l'IRRF qui s'attache davantage à mettre au point des techniques de lutte pour des espèces de ravageurs autres que la tordeuse. Ainsi, Payne travaille de plus en plus avec les herbicides. A. Sundaram effectue également plus de travaux sur les herbicides, bien qu'elle ait poursuivi ses études en laboratoire sur l'influence des additifs et de la température sur les propriétés physiques des formulations huileuses de divers insecticides contre la tordeuse. Fleming et A. Sundaram travaillent en collaboration à mettre au point des modèles prévisionnels à partir de ces données.

L'IRRF a l'intention de continuer à déployer des efforts soutenus sur les techniques d'application des insecticides, notamment des insecticides microbiens, malgré les faibles densités de population de la tordeuse. Des essais sur le terrain de *B.t.* (van Frankenhuyzen) et de virus de la polyédrose nucléaire (Cunningham) et les études épizootiologiques de virus de Kaupp attachent davantage d'importante à d'autres insectes. L'IRRF espère que les établissements locaux effectueront à l'avenir davantage d'essais du *B.t.* comme agent de lutte contre la tordeuse pour qu'il puisse concentrer ses essais du *B.t.* contre d'autres insectes. La grande question au sujet des formulations actuelles de *B.t.* est de savoir si elles agiront aussi bien sur des populations de tordeuses à la hausse qu'elles le font sur les populations à la baisse, compte tenu de l'action différente des facteurs de mortalité.

Tableau 7. Sommaire des études de Forêts Canada sur les techniques d'application des insecticides dans le cadre de la lutte contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette

Étude	Chef	Sujet	Ressources de 1987-1988[a] A.-p. permanentes	A.-p. occasionnelles[b]	F&E $
Techniques d'application					
FP-61-1	A. Sundaram	Formulation de pesticides	0,75	0,0	2 800
FP-61-2	A. Sundaram	Travaux sur la méthodologie de la formulation	0,75	0,0	2 800
FP-23	Fleming	Prévision des propriétés de la formulation	0,1	0,0	150
FP-62-1	Payne	Nébulisateur de pesticides	0,03	0,0	150
FP-62-2	Payne	Dispersion et dérive des pesticides	0,03	0,0	150
Efficacité générale au champ					
NeFC-2712	Raske	Efficacité des insecticides	0,5	0,0	10 000
GLC-09-42	Meating	Évaluation des mesures de répression des ravageurs	0,7	1,3	5 500
MC-04-190	Eidt et Kettela	Efficacité des pulvérisations aériennes	0,9	0,9	18 000
MC-04-209	Kettela	Évaluation de la stratégie de lutte	1,7	0,0	0
FP-51-1	Cadogan	Expérimentation de l'efficacité des insecticides	0,5	0,05	2 700
FP-51-2	Cadogan	Méthodologie de l'efficacité sur le terrain	0,5	0,05	2 700
Efficacité au champ des insecticides biologiques					
FP-10-2	van Franken-huyzen	Interations insecte - *B.t.*	0,5	0,07	2 800
FP-13-2	Cunningham	Essais de virus sur le terrain	0,2	0,0	300
FP-13-3	Kaupp	Épizootiologie des virus	0,25	0,07	2 800
LFC-24	Valéro	Essais sur le terrain de nouvelles formulations	0,3	0,8	3 000

[a] Les ressources sont allouées en proportion du pourcentage de travaux effectués sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette.
[b] Les années-personnes occasionnelles comprennent les années-personnes allouées pour les étudiants, converties sur une base annuelle.

Recherche sur l'impact environnemental de la tordeuse des bourgeons de l'épinette

Historique

Forêts Canada est l'un des nombreux organismes participant à la recherche sur l'impact environnemental de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. D'autres organismes fédéraux ainsi que des groupes provinciaux et universitaires font également leur part. Le rôle de la recherche de Forêts Canada dans ce domaine peut être divisé en deux grands objectifs: (1) recueillir des données sur les risques associés à l'utilisation d'agents de lutte nouveaux ou modifiés afin de les faire homologuer ou

approuver et (2) collaborer avec d'autres organismes pour mettre au point des méthodes et des protocoles appropriés pour évaluer l'impact environnemental des programmes de lutte et pour expliquer les impacts imprévus identifiés par les activités régulières de surveillance de l'environnement. Parmi les impacts imprévus des opérations de lutte, mentionnons les résultats d'incidents survenant en cours de pulvérisation comme les erreurs de formulation, les pannes de matériel, les déversements d'urgence et les erreurs de vol.

Bien que la recherche de Forêts Canada sur l'impact environnemental de la tordeuse se concentre sur les pesticides et autres agents destinés à affecter directement les populations de la tordeuse, les objectifs mentionnés ci-dessus pourraient inclure l'évaluation des interventions qui modifient la composition et le développement de la forêt pour la rendre moins vulnérable aux dommages attribuables à la défoliation causée par la tordeuse. L'impact environnemental des modifications apportées à l'habitat par les effets à long terme des infestations de la tordeuse et les activités d'aménagement forestier associées pour réduire l'impact de cet insecte ne font actuellement pas l'objet d'une évaluation.

État actuel de la recherche sur l'impact environnemental

À l'heure actuelle, les efforts de recherche de Forêts Canada sur l'impact environnemental de la tordeuse sont surtout déployés à l'IRRF (8,3 années-personnes, budget de F&E de 28 000 $), Forêts Canada–Maritimes et le CFL étant les deux seuls autres établissement de Forêts Canada où des études à ce sujet sont menées. Le tableau 8 résume les activités actuelles (1987-1988) de recherche de Forêts Canada sur l'impact environnemental de la tordeuse. À la consultation du tableau 8, il est important de se rappeler que la majeure partie de ces travaux sont applicables d'un insecte à l'autre: même produit chimique, même méthode d'application. Il est donc difficile de déterminer les efforts de recherche dirigés particulièrement vers la tordeuse.

Chaque laboratoire a tendance à remplir un rôle légèrement différent dans l'ensemble de l'effort de Forêts Canada en matière d'impact environnemental. Au CFL, les efforts de Valéro sont axés sur le stade provincial d'approbation/d'autorisation du processus d'évaluation. À Forêts Canada–Maritimes, Eidt s'occupait autrefois d'évaluer l'impact durant les opérations de lutte contre la tordeuse, sa tâche consistant à élaborer des méthodes et à expliquer les effets imprévus. Ces travaux étaient effectués par Forêts Canada–Maritimes pour le Comité de surveillance environnementale des opérations de lutte contre les ravageurs forestiers (EMOFICO). Toutefois, Eidt abandonne la recherche sur l'impact environnemental pour étudier le potentiel des nématodes dans la lutte contre la tordeuse.

La majeure partie des travaux relatifs à l'impact environnemental effectués à l'IRRF portent sur l'homologation et l'évaluation préhomologation des produits de lutte proposés. La philosophie sous-tendant l'attribution de cette double tâche est que la sélection d'agents de lutte éventuels selon leur impact environnemental par le même organisme qui détermine son efficacité permet de l'évaluer avant de recommander son utilisation et de s'assurer que l'efficacité et le risque pour l'environnement sont convenablement équilibrés. Ces travaux, en prévoyant l'impact environnemental des insecticides aux doses d'emploi prévues en foresterie, aident à définir les rôles éventuels des insecticides en question.

Les activités de Forêts Canada en matière d'impact environnemental se composaient traditionnellement d'études sur le terrain des impacts à court terme des pulvérisations, peu d'efforts de recherche soutenus sur les effets secondaires ou cumulatifs des traitements étant effectués. En règle générale, cette situation devrait continuer de prévaloir. Toutefois, l'IRRF joue un rôle de moins en moins important dans l'étude de l'impact des programmes opérationnels de lutte ou dans l'élaboration de méthodes de surveillance des applications d'insecticide et transfère actuellement la technologie existante aux organismes qui sont réellement chargés de la surveillance. D'autres compétences se chargeant de plus en plus de l'évaluation de l'impact des opérations de lutte, l'IRRF

participe de plus en plus à des études à long terme ou plus fondamentales sur les pesticides/l'écologie. De façon plus particulière, mentionnons l'étude d'Helson portant sur la toxicité de certains insecticides pour des organismes non visés, notamment les insectes aquatiques et les pollinisateurs. Kingsbury dirige le projet FP-70 qui comprend les études de Barber, Holmes, Kreutzweizer et Millikin. Kingsbury conseille également au besoin les organismes provinciaux sur leurs activités d'évaluation environnementale. Barber se penche sur la toxicité potentielle de certains pesticides forestiers pour les pollinisateurs et autres invertébrés terrestres non visés. Holmes et Millikin effectuent actuellement leur maîtrise en sciences à l'Université Queen's et à l'Université de la Colombie-Britannique respectivement sur l'impact du fénitrothion sur le comportement du diamant mandarin en laboratoire et sur les collectivités d'oiseaux chanteurs sur le terrain. Holmes et Fleming collaborent avec le Service canadien de la faune à une étude sur le terrain se penchant sur les effets du Zectran sur les oiseaux chanteurs forestiers. Kreutzweiser a recueilli des données de base sur le poisson et les invertébrés à Icewater Creek et a injecté de la perméthrine pour évaluer l'impact de la mortalité d'invertébrés aquatiques sur le comportement et la croissance du poisson. K. Sundaram effectue des études en laboratoire et sur le terrain sur l'absorption, la translocation et le devenir de divers insecticides.

Tableau 8. Sommaire des études de Forêts Canada relatives à la recherche sur l'impact environnemental de la tordeuse des bourgeons de l'épinette

			Ressources de 1987-1988[a]		
Étude	Chef	Sujet	A.-p. permanentes	A.-p. occasionnelles[b]	F&E $
LFC-24	Valéro	Approbation provinciale/ autorisation du *B.t.*	0,2	0,0	1 000
MC-04-192	Eidt	Devenir et effets de la dérive des insecticides	1,1	0,0	3 000
FP-23	Fleming	Analyse des relations d'ordre toxicologique	0,3	0,0	450
FP-50-3	Helson	Toxicité pour les organismes non visés	0,7	0,05	1 520
FP-70-1	Kingsbury et Holmes	Relations dose/réaction	1,5	0,3	3 750
FP-70-2	Kingsbury et Holmes	Impact sur le milieu aquatique	0,6	0,0	1 500
FP-70-3	Kingsbury et Holmes	Impact sur les vertébrés terrestres	1,5	0,0	3 750
FP-70-4	Kingsbury et Barber	Impact sur les invertébrés terrestres	1,5	0,3	3 750
FP-71-1	K. Sundaram	Devenir dans l'environnement de la dérive des insecticides	1,1	0,1	6 650
FP-71-2	K. Sundaram	Mise au point de méthodes	1,1	0,1	6 650

[a] Les ressources sont allouées en proportion du pourcentage de travaux sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette.
[b] Les années-personnes occasionnelles comprennent les années-personnes allouées pour les étudiants, converties sur une base annuelle.

Examens des questions et des préoccupations

A. Utilisation de produits chimiques pour la protection des forêts

Dans un avenir prévisible, l'aménagement forestier devra faire appel à des applications de larvicides pour protéger le feuillage. Toutefois, il n'existe actuellement que deux solutions pour lutter contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette, soit de pulvériser du fénitrothion ou du *B.t.* Seul le *B.t.* est utilisé lors des opérations de lutte en Ontario, au Québec et en Nouvelle-Écosse. Cette décision est surtout politique et non pas scientifique. Lorsqu'une compétence donnée aura adopté l'utilisation du *B.t.*, il sera difficile d'y ramener l'utilisation d'un insecticide chimique, même s'il est la meilleure alternative. Le *B.t.* gagnant de plus en plus la faveur, l'industrie s'intéresse davantage à sa mise au point et met fin à la production de certains produits chimiques (par exemple le Matacil). Il est primordial que l'aménagement forestier dispose toujours de plus d'un type de produits au cas où l'un d'eux deviendrait soudainement une source de problème, posant par exemple des préoccupations environnementales ou un danger pour la santé humaine. À l'heure actuelle, nous estimons que Forêts Canada et, notamment l'IRRF, devraient conserver leurs compétences et poursuivre leurs efforts de recherche sur les insecticides chimiques, bien qu'il soit certainement justifié qu'on accorde davantage d'importance aux insecticides biologiques.

Les données exigées par les provinces en vue de l'approbation de l'utilisation de produits antiparasitaires varient d'une compétence à l'autre et n'étaient pas, selon nous, tout à fait claires. Bien que les organismes de réglementation provinciaux aient en général tendance à accepter l'homologation fédérale, elles exigent souvent d'autres données à la suite des préoccupations exprimées par d'autres groupes ou organismes après qu'une substance ait commencé à être utilisée. Ce genre de question fera surface périodiquement et nous n'avons aucun moyen de le prévoir. Les exigences menant à la délivrance d'un permis devraient, dans la mesure du possible, être toujours stables.

Les activités futures de développement de produits pourraient être une autre question. L'IRRF a préparé l'homologation du Zectran, mais cet insecticide pourrait ne pas être rentable pour May et Baker parce que le marché est petit et que nous ne savons pas s'ils ont l'intention de le faire homologuer au Canada à l'heure actuelle. Cela soulève une autre question: le gouvernement devrait-il participer à la mise au point ou à la production industrielle de substances insecticides qui sont efficaces et sûres sur le plan environnemental mais pour lesquelles la demande est limitée (parce qu'elles sont très sélectives) et qu'elles sont par conséquent abandonnées par l'industrie. Une autre question du même ordre est le coût de production des agents de lutte biologique qui peut être aussi élevé que celui de nouveaux produits chimiques. Une étude de faisabilité de lâchers massifs d'ennemis naturels dans le cadre d'une stratégie opérationnelle entraîne des dépenses beaucoup plus importantes que ne peuvent se permettre la plupart des études. En l'absence de certains mécanismes d'étude permettant d'obtenir une aide additionnelle et une collaboration de l'extérieur, les possibilités que Forêts Canada participe à cet aspect de la recherche sur la lutte sont très minces. Nous recommandons que Forêts Canada se penche sur la question de la participation du gouvernement à la mise au point ou à la production industrielle de substances insecticides désirables pour lesquelles la demande est limitée (**Recommandation 7**). Forêts Canada devrait être prêt à fournir une aide à court terme pour la production et l'essai sur le terrain d'agents de lutte.

Tous ont été unanimes à donner leur appui aux travaux sur l'efficacité des pulvérisations effectués par le Groupe de recherche sur l'efficacité des pulvérisations du Nouveau-Brunswick et nous sommes persuadés que Forêts Canada devrait continuer de l'appuyer grâce à des projets de recherche conjoints avec Forêts Canada–Maritimes et l'IRRF. Certains chercheurs de l'IRRF estiment qu'il serait peut-être justifié de déployer des efforts particuliers de transfert de technologie pour s'assurer que tous les intervenants aux opérations de pulvérisation soient au courant des résultats des travaux les plus récents sur la dispersion du nuage pulvérisé effectués par le Groupe de recherche sur

l'efficacité des pulvérisations du Nouveau-Brunswick. Cette question a été abordée, du moins en partie, lors du récent symposium de l'ACAFA sur l'application aérienne de pesticides dont le compte rendu devait être publié au début de 1988.

B. Recherche sur la lutte biochimique

En raison de la disponibilité décroissante des autres moyens de lutte contre la tordeuse, la mise au point d'agents biochimiques, dont les régulateurs de croissance des insectes et les phéromones, devrait recevoir de plus en plus d'attention à l'avenir. Forêts Canada devrait poursuivre ses travaux dans ces domaines.

Parmi les problèmes identifiés, mentionnons le manque de coordination de la recherche sur la lutte à l'aide de phéromones entre les divers organismes participants (Forêts Canada, Université du Nouveau-Brunswick, C.R.P., N.-B.) et les divergences d'opinion quant à la meilleure ligne de conduite à adopter dans ce domaine. De 1975 à 1981, Forêts Canada a effectué des essais sur le terrain qui ont été plus ou moins [illegible]es. Au cours des dernières années, Seabrook et ses collègues (Université du Nouveau-Brunswick) [illegible]t mené des essais sur le terrain. Ils ont obtenu un certain succès sur une échelle limitée. Les problèmes posés par les formulations et le dispositif expérimental restent entiers. Nous recommandons par conséquent qu'un groupe de travail non officiel sur la lutte à l'aide de phéromones soit créé pour coordonner les recherches en laboratoire et sur le terrain à ce sujet (**Recommandation 8**).

C. Recherche sur la lutte biologique

La plupart des chercheurs sont d'avis que les études des populations constituent un outil inestimable pour orienter l'application de nouvelles stratégies de lutte biologique. Forêts Canada devrait se rendre à l'évidence que la compréhension des phénomènes démographiques sont à la base de l'élaboration de programmes de lutte biologique et les efforts dans ce domaine devraient, dans la mesure du possible, être associés à des études des populations.

La plupart des chercheurs estimaient également que l'accent mis actuellement sur certains agents de lutte biologique était opportun, compte tenu de l'expérience antérieure acquise et des possibilités actuelles. La recherche à l'étranger de nouveaux parasitoïdes utiles pour lutter contre la tordeuse est un domaine qui offre des possibilités qui pourraient ne jamais se reproduire ou être négligées. À l'heure actuelle, Forêts Canada confie cette tâche à contrat à la station sur le terrain Delemont de l'Institut du Commonwealth pour la lutte biologique situé en Europe. Toutefois, les fonds sont alloués avec parcimonie et des facteurs aussi imprévisibles qu'un taux de change défavorable pour le dollar canadien ont récemment menacé la poursuite de ces travaux. On a complètement fait fi de la présence potentielle d'agents de lutte biologique dans les forêts d'Asie (en Chine par exemple). Forêts Canada devrait prévoir un niveau de financement de la station sur le terrain Delemont de l'Institut du Commonwealth pour la lutte biologique qui permette de maintenir un programme sur le terrain viable relatif aux ennemis naturels de la tordeuse et d'appuyer les travaux effectués sur le terrain par les chercheurs de Forêts Canada partout où pourraient se trouver des agents éventuels de lutte biologique (**Recommandation 9**).

Les chercheurs s'intéressant à la lutte biologique devraient collaborer avec les autres intervenants dans ce domaine et également avec leurs collègues s'occupant de la biologie des populations, de la technologie des pulvérisations, de surveillance et d'impact environnemental. En règle générale, les communications semblaient adéquates, sauf dans le domaine de la recherche sur les virus. L'étude menée au CFL (Valéro) a recours à une approche différente de celle préconisée par plusieurs pathologistes de l'IRRF; en effet, on y effectue des essais au champ de pathogènes dont les caractères n'ont pas été établis adéquatement. Le Comité d'examen s'inquiète du fait que deux

attitudes si opposées existent au sein de Forêts Canada, compte tenu qu'il est possible de relâcher des recombinants inconnus. Nous recommandons que la recherche sur la lutte biologique contre la tordeuse à l'aide de virus soit mieux coordonnée au sein de Forêts Canada (**Recommandation 10**). Plus particulièrement, l'étude de Valéro du CFL devrait tirer profit de l'expérience acquise à l'IRRF en matière de caractérisation de la nature des nouvelles entités virales avant de procéder à des essais sur le terrain plus approfondis.

L'étude de faisabilité effectuée en Ontario sur les lâchers massifs du parasitoïde de l'œuf *Trichogramma* ayant pris fin, Forêts Canada doit décider du sort de la recherche sur ce parasitoïde. Certains intervenants de l'extérieur de Forêts Canada sont toujours intéressés à poursuivre les lâchers expérimentaux, mais le rôle de Forêts Canada serait surtout alors d'ordre financier. Le Comité d'examen recommande que Forêts Canada, plutôt que de poursuivre sa politique de lâchers sur le terrain à grande échelle, apporte uniquement une aide à des études cruciales en laboratoire destinées à résoudre les problèmes inhabituels de production et utilisant *Trichogramma* dans des conditions particulières, comme dans des plantations (**Recommandation 11**).

D. Recherche sur l'impact environnemental

Le Comité directeur de Forêts Canada n'a pas souscrit aux recommandations du Groupe d'étude de la recherche de Forêts Canada sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette de 1979 en matière d'impact environnemental mais réagissait en déclarant que la recherche sur l'impact environnemental était un domaine ayant besoin «d'être étudié en profondeur et d'être doté de politiques». Ces besoins n'ont pas été satisfaits. Nous recommandons par conséquent que soit créé un groupe habilité à élaborer une politique relative à la recherche sur l'impact environnemental pour Forêts Canada (**Recommandation 12**). Ce groupe devrait aborder certaines des questions et problèmes suivants:

- La majeure partie des programmes de surveillance ne peuvent pas étudier adéquatement l'impact cumulatif éventuel sur l'environnement des pulvérisations annuelles ou les effets secondaires des impacts à court terme sur les insectes non visés. Pourtant, les chercheurs ne s'intéressent pas de façon très soutenue à la mesure des effets cumulatifs des pulvérisations, mais semblent préférer les études écologiques fondamentales permettant de mesurer l'impact à court terme sur notre environnement. Appartient-il à Forêts Canada de mesurer l'impact des effets cumulatifs sur l'environnement? Dans l'affirmative, quelle est la meilleure façon de le faire? Il faudra certainement s'assurer de la participation de personnes de l'extérieur.
- Forêts Canada devrait-il s'occuper davantage de recueillir des données sur les conséquences environnementales de la solution dite «de non-contrôle»? Il est essentiel de disposer de telles données pour évaluer objectivement les avantages et les désavantages de la protection.
- Certains autres organismes sont d'avis que Forêts Canada a un penchant pour l'industrie et les pulvérisations, bien que ses données sur l'impact environnemental soient justes. Il faut toutefois se demander si le cas de l'industrie et des pulvérisations serait jugé adéquatement si Forêts Canada se contentait de présenter les données sans les interpréter. Devrait-il revenir à l'industrie elle-même ou à un autre organisme de plaider la cause des pulvérisations? Une solution serait d'avoir recours à une association (comme peut-être l'ACPP) regroupant des représentants de l'ensemble des intervenants en foresterie qui organiserait une approche coordonnée. Les groupes de recherche sur l'impact environnemental de Forêts Canada pourraient ainsi s'attacher à la collecte des données et à leur analyse.
- Forêts Canada devrait-il intervenir dans la sensibilisation du public aux avantages de la protection des forêts dans des situations appropriées et, notamment, sur la solution de rechange: qu'arrive-t-il lorsque nous ne les protégeons pas? Dans l'affirmative, Forêts Canada pourrait créer un petit groupe qui recueillerait les faits pertinents sur les avantages et les coûts de la protection des forêts et déterminerait la meilleure façon de porter ces faits à l'attention du public.

- Les efforts consacrés à l'impact environnemental de la tordeuse porteront vraisemblablement de plus en plus sur le *B.t.* puisque son utilisation est de plus en plus fréquente. La situation de l'impact environnemental du *B.t.* est maintenant en suspens, le public ne faisant que commencer à s'en préoccuper. Forêts Canada ne peut toutefois pas aborder bon nombre des préoccupations scientifiques car il n'a aucune expérience en matière d'impact environnemental des organismes microbiens. Si ce domaine est important, il devrait se doter d'une telle capacité. Certaines provinces jouent de plus en plus un rôle évident, comme le Québec dont le MER se penche sur la question de l'accumulation du *B.t.* dans le sol et autres substrats forestiers. Nous recommandons la tenue d'un dialogue fédéral-provincial pour aborder la question de l'impact environnemental des agents de lutte biologique et répartir les tâches entre les divers organismes.

Depuis quelque temps, l'inquiétude soulevée par les effets des insecticides contre la tordeuse dérivant dans des territoires non visés s'est amenuisée pour deux raisons. D'abord les formulations, les doses et les méthodes d'application ont été raffinées au point que les effets environnementaux étaient jugés largement tolérables par les organismes de réglementation. Puis, et en partie en tenant compte de la première raison, les environnementalistes portent maintenant surtout attention aux herbicides. Toutefois, des questions comme l'ampleur de la diminution de la cholinestérase des oiseaux chanteurs ou la mortalité des pollinisateurs associée aux opérations effectuées à l'aide du fénitrothion pour lesquelles des données ont été accumulées depuis 5 à 10 ans pourraient refaire surface lorsque les organismes environnementaux réexamineront l'acceptabilité de ces effets. Nous ne savons pas comment les effets hors cible du fénitrothion influenceront la recherche sur l'impact environnemental de Forêts Canada.

À l'avenir, la mise au point d'un produit devrait insister davantage sur la prévision de l'impact environnemental possible. La première étape consistera à recueillir des données détaillées sur les interactions entre les pesticides et les organismes. Après quoi, il faudra vérifier les effets sur les populations et les impacts sur les processus écologiques fondamentaux (par exemple pollinisation, prédation). Agriculture Canada élabore actuellement un ensemble global de règles applicables à l'impact environnemental que Forêts Canada adoptera. Il lui faudra alors effectuer davantage de travaux sur l'impact environnemental.

Chapitre 6. Activités futures de répression des ravageurs dans les forêts sensibles à la tordeuse des bourgeons de l'épinette: Élaboration d'un programme intégré de recherche de Forêts Canada

Forêts Canada consacre une partie appréciable de son budget annuel à la recherche sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Le total des ressources allouées en 1987-1988 aux diverses études dont ont fait état les tableaux 1 à 8 dépassse 60 années-personnes et 390 000 $ de F&E. L'objectif de cette recherche est d'acquérir des connaissances, de mettre au point des méthodes de prévision et d'évalution ainsi que des techniques de répression des populations pour permettre aux aménagistes de mieux faire face aux problèmes causés périodiquement par la tordeuse.

Le présent rapport s'est penché sur la recherche relative à la tordeuse effectuée dans chaque discipline, a proposé des orientations futures et a formulé des recommandations. Nous n'avons toutefois pas parlé de ce que nous croyons être une lacune importante du programme de recherche sur la tordeuse de Forêts Canada, soit la nécessité d'organiser l'information de façon que les aménagistes puissent l'utiliser. Pour y arriver, il faudra intégrer l'information et les projets de recherche effectués dans diverses disciplines. Ce besoin d'intégration n'est pas unique à la recherche sur la tordeuse; il se fait sentir dans de nombreux programmes de recherche scientifique parce que la spécialisation et la création de liens étroits entre les chercheurs d'une même discipline a toujours caractérisé la science. Nous devons élaborer des mécanismes pour encourager et renforcer les liens interdisciplinaires.

L'application aérienne d'insecticides continue d'être la seule méthode opérationnelle de répression des populations de la tordeuse. Avec l'amenuisement des possibilités, le futur de l'application aérienne d'insecticides pour lutter contre les infestations de la tordeuse est incertain. Cet état de fait rend impératif l'exécution de recherche fondamentale sur de nouvelles méthodes (application aérienne ou autre) de répression des ravageurs forestiers. Les solutions aux problèmes ne seront pas simples, la plupart des méthodes «faciles» ayant déjà été essayées. Forêts Canada devrait maintenant tenter de se doter d'une stratégie plus globale pour l'aménagement à long terme des peuplements forestiers et leur infestation inévitable par la tordeuse.

Dans le présent chapitre, nous proposons deux approches complémentaires par lesquelles la recherche sur la tordeuse de Forêts Canada pourrait mieux aborder les besoins des aménagistes: (1) l'élaboration d'un système d'aide à la prise de décisions en matière de répression des ravageurs, qui permettrait d'intégrer les données existantes sur la tordeuse et les modèles en un système qui aiderait les aménagistes à prendre des décisions et constituerait également un cadre de coordination de certains projets de recherche, et (2) une approche à la répression expérimentale des ravageurs consistant à élaborer et à faire l'essai de nouvelles techniques de répression de populations plus ou moins denses de la tordeuse. Cette approche nécessiterait l'utilisation de modèles informatisés donnant différentes solutions de répression des ravageurs (par exemple agents pathogènes, virus, amélioration des parasites, aménagement des peuplements et combinaisons de ces différentes solutions) et l'essai de ces techniques sur le terrain.

Comment Forêts Canada peut-il améliorer le transfert de la technologie?

La mise en commun de données scientifiques sous une forme utile aux aménagistes exige trois choses: un engagement de la part des chercheurs à produire des résultats destinés aux clients, une bonne compréhension des problèmes d'aménagement et un transfert de la technologie approprié.

D'après ce que nous avons appris lors de nos réunions dans chaque établissement, nous croyons que les objectifs de la recherche sont définitivement orientés vers l'utilisateur. La plupart des

chercheurs de Forêts Canada travaillant sur la tordeuse considèrent leurs recherches comme contribuant à résoudre le problème de la tordeuse ou du moins à permettre aux aménagistes de mieux faire face à la situation.

Pour bien comprendre les problèmes de l'aménagement, nous croyons qu'il est primordial que les chercheurs tentant d'obtenir des données à l'intention des aménagistes entrent en contact avec les utilisateurs éventuels lors de l'élaboration et de l'exécution de leurs projets de recherche. Les chercheurs qui tentent seuls d'établir un modèle orienté vers le besoin des utilisateurs ont des points de vue si différents qu'ils échoueront la plupart du temps. La création de liens appropriée entre le chercheur et l'utilisateur est un concept simple qui, plus souvent qu'autrement, ne se concrétise pas.

Un transfert de technologie adéquat consiste tout simplement à ce que les chercheurs présentent eux-mêmes leurs résultats de recherche sous la forme la plus utile possible aux aménagistes. Ils peuvent avoir à démontrer les avantages de la nouvelle méthodologie et à faire preuve d'aptitudes pour la vente et d'une certaine habileté lors de la présentation de nouvelles idées. Dans bon nombre de cas, le transfert de la technologie doit être effectué par les auteurs eux-mêmes, car ils sont les mieux placés pour expliquer les résultats. Nous sommes par contre conscients que les chercheurs n'ont pas reçu de formation sur le transfert de la technologie et peuvent ne pas être qualifiés pour le faire et que Forêts Canada devra, dans certains cas, trouver d'autres moyens. Forêts Canada doit modifier son attitude envers les activités de transfert de la technologie s'il veut encourager les chercheurs à y participer. À l'heure actuelle, la promotion professionnelle passe par les articles publiés dans les revues scientifiques consacrées, à un point tel que les activités de transfert de technologie sont considérées par de nombreux chercheurs de Forêts Canada comme nuisant à leur avancement. Les évaluations du rendement et l'octroi de promotion par la direction de Forêts Canada doivent récompenser les activités de transfert de technologie réussies des chercheurs.

L'obtention et la publication de résultats destinés aux utilisateurs

Forêts Canada peut améliorer l'obtention et la publication de résultats destinés aux utilisateurs en mettant en place des mécanismes pour faciliter la collaboration multidisciplinaire en matière de recherche sur la répression des ravageurs et accorder une grande priorité à ces travaux. Nous estimons qu'il conviendrait d'adopter deux approches distinctes mais complémentaires, soit l'élaboration d'un système d'aide à la prise de décisions relative à la répression de la tordeuse et à l'aménagement forestier et l'utilisation de la répression expérimentale des ravageurs pour mettre au point et à l'essai de nouvelles techniques de lutte contre la tordeuse. Nous examinerons ci-dessous les concepts englobés par ces deux approches; elles devraient être élaborées dans le cadre d'un programme de recherche coordonné.

Concepts d'un système d'aide à la prise de décisions relatives à la répression de la tordeuse des bourgeons de l'épinette

L'élaboration d'un système d'aide à la prise de décision relatives à la gestion des ressources devrait être au cœur de la création d'un programme intégré de recherche à Forêts Canada. Un tel programme de recherche devrait mettre l'accent sur la répression à long terme de la tordeuse (par opposition à l'approche utilisée jusqu'ici consistant à intervenir uniquement en cas de situations de crise) à l'aide de diverses méthodes de lutte dont certaines se sont avérées inefficaces en présence de fortes densités de population, mais pouvant permettre de réprimer des populations peu denses. Le programme de recherche devrait également être conçu pour aborder les effets des interventions combinées et adapter ces interventions à des conséquences ultérieures ou variables, comme la modification de la structure du peuplement ou la lutte biologique classique. Ce système d'aide à la

prise de décisions en matière de répression des ravageurs devrait être intégré à d'autres outils utilisés en aménagement forestier pour planifier les activités sylvicoles, de récolte ou de reboisement. De plus, le système devrait être assez flexible pour pouvoir englober de nouvelles hypothèses de travail et des résultats de recherche. Enfin, il devrait non seulement servir à organiser la recherche, mais également à coordonner le transfert de la technologie en matière de répression de la tordeuse. La figure 1 présente le shéma d'un tel système. Les divers éléments de ce système pourraient comporter des bases de données, divers types de modèle de simulation, des critères de prise de décisions et autres outils comme des systèmes de gestion des bases de données ou des systèmes-experts.

Pour qu'un tel programme intégré de recherche aborde des préoccupations pratiques de l'aménagement forestier, il faut que les résultats obtenus soient compatibles avec la technologie des systèmes d'information géographique (SIG). L'expression «système d'information géographique» désigne le matériel et le logiciel conçu spécialement pour stocker, mettre à jour, analyser et restituer des données sur les ressources forestières accompagnées de coordonnées géographiques. Ces systèmes permettent d'examiner et de manipuler les données de milliers de peuplements d'une zone d'aménagement pour élaborer un plan d'aménagement ou de protection et de garder en mémoire l'emplacement dans l'espace de chaque peuplement de la forêt. Les bases de données des systèmes d'information géographique qui sont actuellement élaborées dans de nombreuses compétences comporteront des données spatiales pertinentes sur chaque peuplement ainsi que des données descriptives sur les caractéristiques particulières à une station, comme le volume d'un peuplement, sa composition, son degré de maturité, la topographie et les sols. Les systèmes d'aide à la prise de décisions en matière de répression de la tordeuse et d'aménagement forestier devraient utiliser ces données et se prêter à se type de gestion. En fin de compte, un système d'aide à la décision comprendra des outils d'aménagement forestier comme des fonctions économiques et autres fonctions reliées à l'industrie, en plus de divers types de modèles sur la croissance et le rendement. Ils serviront à prévoir la production, à effectuer des analyses de flux de la matière ligneuse, à déterminer le calendrier des coupes et à mettre à jour les données d'inventaire. L'utilisation de tels systèmes d'aménagement forestier basé sur un système d'information géographique incombe aux provinces et à l'industrie, mais Forêts Canada devrait participer à leur conception et à leur mise sur pied.

Un tel système de planification devrait englober les résultats de la recherche sur la tordeuse dans trois secteurs (impact sur la forêt, méthodes de lutte et biologie des populations). La planification des traitements sylvicoles ou des opérations de répression des ravageurs pourraient prendre en compte l'impact prévisible de la défoliation causé par la tordeuse sur la croissance et le rendement, impact établi par les données sur l'abondance des insectes, l'état du peuplement et les dommages grâce à des relevés au sol et à la télédétection de concert avec l'indice de vulnérabilité du peuplement. La stragégie des interventions de lutte contre la tordeuse pourrait être planifiée à l'aide de modèles de prévision des conséquences à long terme, tandis que la planification tactique pourrait faire appel à des cartes détaillées de risques et à des données sur l'efficacité relative, le coût et l'impact environnemental des diverses méthodes de lutte (chimique, biochimique ou biologique). L'attribution d'un ordre de priorité à la protection des divers peuplements ou types de peuplement pourrait être effectuée selon leur apport à l'approvisionnement futur en matière ligneuse et leur période prévue d'exploitation. Divers autres outils, comme les simulateurs des phénomènes périodiques (phénologie), pourraient être utilisés pour aider à planifier les détails des opérations de lutte.

La prise en compte d'autres stragégies de répression, comme la présence accrue d'ennemis naturels ou la modification de la sensibilité d'un peuplement exige un examen des phénomènes fondamentaux intervenant dans la dynamique des populations de tordeuses (mortalité, migration, reproduction). C'est notamment le cas des effets du peuplement et des caractéristiques stationnelles sur le complexe d'ennemis naturels et du comportement des populations de la tordeuse.

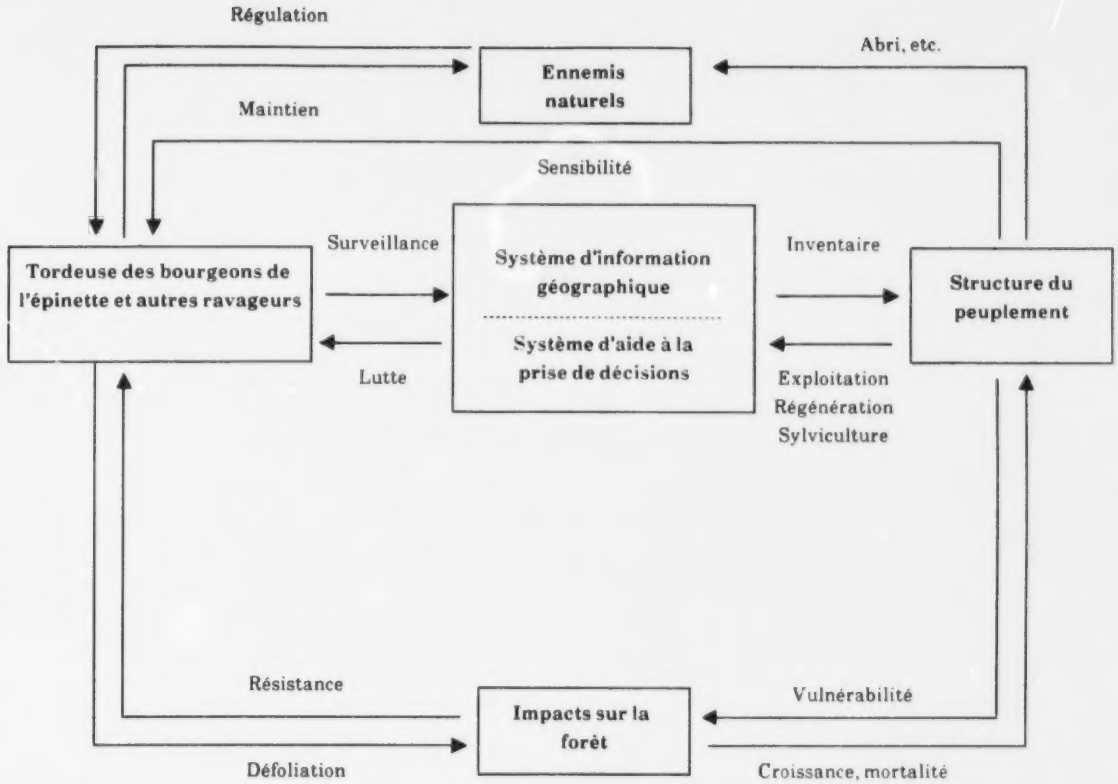


Figure 1. Cadre conceptuel à l'élaboration d'un système d'aide à la prise de décisions relatives à l'aménagement des forêts sensibles à la tordeuse des bourgeons de l'épinette.

Tous les domaines d'étude traités dans le présent rapport peuvent facilement être intégrés à un élément ou plus d'un tel système d'aide à la prise de décisions, des relations interdépendantes et hiérarchiques avec d'autres aspects du programme de recherche pouvant être clairement définies. Un système d'aide à la prise de décisions, en plus d'offrir un cadre adéquat à l'organisation de la recherche, aidera à définir la nature et le type d'information nécessaires, permettra de prendre rapidement en compte toute nouvelle connaissance et facilitera le transfert aux clients. De plus, la mise sur pied d'un tel type de système devrait resserrer les liens avec les utilisateurs éventuels. Il favorise enfin l'émergence de nouvelles hypothèses et laisse entrevoir des méthodes expérimentales pour les vérifier.

L'élaboration de systèmes d'aide à la prise de décisions sur l'aménagement forestier est de toute évidence une lourde tâche et ne doit pas porter uniquement sur la répression des ravageurs. Plusieurs intervenants se partagent cette responsabilité. Il est clair que la prise de décisions en matière d'aménagement et l'acquisition de systèmes d'information géographique incombent aux provinces ou à l'industrie. Nous sommes persuadés que l'utilisation de SIG et l'élaboration de modèles ou de systèmes pour aider les décideurs sont inévitables et sont des outils sur lesquels Forêts Canada devrait se pencher. Forêts Canada devrait collaborer avec les provinces et l'industrie à l'élaboration de tels systèmes. Nous croyons de plus que la répression des ravageurs est une composante essentielle à intégrer à l'aménagement forestier. Trop souvent, les activités de protection, d'exploitation, de perpétuation et de renouvellement des forêts sont menées séparément et ne sont que très peu corrélées plutôt que de faire l'objet d'un aménagement véritablement intégré.

Concepts d'une approche expérimentale à la répression des ravageurs

Outre l'organisation et le transfert de l'information existante aux utilisateurs, il faut également se demander comment nous pouvons arriver à mieux comprendre la réaction des systèmes ravageurs-forêts aux divers modes d'aménagement. Nous avons traditionnellement misé davantage sur la recherche fondamentale tout en réprimant les ravageurs à l'aide d'insecticides pour empêcher la destruction de la ressource, en attendant de mieux comprendre l'évolution naturelle du système. On croyait généralement qu'une meilleure compréhension consistait à connaître de façon plus détaillée les composantes des phénomènes-clés du système.

Mais comment faire la synthèse de ces données? Un mode d'aménagement qui met l'accent sur la répression des ravageurs ne nous permet pas d'effectuer les observations et les expériences requises pour prévoir le comportement du système s'il était soumis aux autres approches. Nous pourrions toutefois, et à petite échelle, utiliser les activités d'aménagement elles-mêmes pour obtenir des données nouvelles et pertinentes. Nous pourrions ainsi aller au-delà des extrapolations des phénomènes que nous connaissons pour prévoir les effets de modes d'aménagement particuliers.

Nous croyons qu'il est temps d'appliquer activement nos connaissances actuelles au problème de la lutte contre la tordeuse grâce au processus de répression expérimentale des ravageurs. Une telle approche consiste essentiellement à procéder par «savants tâtonnements». Des modèles de grande envergure, qui font la synthèse des modèles des phénomènes constituants, serviraient à prévoir comment le système ravageurs-forêts pourrait réagir à d'autres modes d'aménagement et ainsi aider à formuler les essais de répression. En ce sens, les modèles aideraient à poser des hypothèses éclairées sur les approches d'aménagement prometteuses. Les essais de répression permettraient alors de mettre à l'épreuve nos hypothèses éclairées et la façon dont nous avons fait la synthèse des phénomènes constituants. Une approche inductive (obtention d'hypothèses suivie d'essais dans le cadre d'expériences sur le terrain) pourrait être utilisée, par exemple, pour déterminer les facteurs du peuplement qui influencent les populations de la tordeuse et qui pourraient entraîner une diminution de la sensibilité et de la vulnérabilité.

La répression expérimentale devrait être effectuée à une échelle assez petite pour que ses coûts éventuels soient limités si le mode de gestion utilisé s'avère infructueux, mais toutefois assez importante pour obtenir une bonne idée de son efficacité dans des conditions opérationnelles. L'approche consisterait à identifier des parcelles où diverses solutions de lutte et différents traitements sylvicoles destinés à empêcher l'apparition de graves infestations de la tordeuse pourraient être appliqués seuls ou à plusieurs, ainsi que des parcelles non traitées appropriées soumises à divers degrés d'infestation et comportant des structures de peuplement diverses. Certaines solutions de lutte devraient nécessairement être orientées vers des peuplements de grande valeur, des plantations, des zones récréatives, etc., plutôt que vers l'ensemble de la forêt.

Un programme de répression expérimentale des ravageurs fournirait non seulement un forum où les chercheurs pourraient vérifier leurs idées mais permettrait également d'établir dans les faits comment la recherche sur la lutte peut être intégrée efficacement à un programme de répression de la tordeuse.

Orientations futures: Mise en application d'un programme intégré de recherche sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette

Nous avons délibérément limité notre examen d'un système d'aide à la prise de décisions relatives à la répression de la tordeuse des bourgeons de l'épinette ainsi que de la répression expérimentale des ravageurs au niveau conceptuel. Il revient aux chercheurs de Forêts Canada qui

participeront à ces travaux d'élaborer des plans de recherche particuliers. Toutefois, nous avons plusieurs commentaires à formuler sur la mise en application d'un programme intégré de recherche sur la tordeuse.

Nous sommes d'avis que les groupes de travail peuvent être le mécanisme fondamental de coordination de la recherche à l'intérieur d'une discipline (entre divers établissements) et entre les disciplines. Le chapitre 7 examine plus en détail les groupes de travail. Forêts Canada s'est déjà doté de groupes de travail sur la modélisation, la lutte biologique et l'écologie de la tordeuse et nous avons recommandé tout particulièrement la création de groupes de travail sur l'impact et la lutte à l'aide de phéromones (**Recommandations 4 et 8**). Les chercheurs faisant partie de ces groupes devraient adopter ou définir des objectifs de recherche connexes à leur propre discipline et établir des projets de recherche conjoints pour atteindre ces buts. La solution est que les chercheurs adoptent les objectifs du programme de recherche de Forêts Canada dans son ensemble pour leurs études individuelles.

Quant à la mise au point d'un système d'aide à la prise de décisions et d'une approche à la répression expérimentale des ravageurs, il sera nécessaire de réunir des groupes de chercheurs intéressés à ces approches et déterminés à les utiliser au point de réorienter leurs programmes de recherche. Il est essentiel que ces groupes soient formés de chercheurs provenant de diverses disciplines. Les chercheurs devraient, dans la mesure du possible, y participer volontairement. Un groupe petit, dévoué et enthousiaste, travaillant pour produire quelque chose qu'il juge important, sera plus productif qu'un groupe plus important auquel des chercheurs sont tenus de participer. Nous recommandons que Forêts Canada crée un groupe de travail à objectifs chargé d'élaborer un système d'aide à la prise de décisions relatives à la répression de la tordeuse et un programme de répression expérimentale des ravageurs (**Recommandation 13**). La création de groupes de travail distincts pour chacun de ces projets peut éventuellement s'imposer. De plus, nous recommandons que R.A. Fleming et J. Régnière convoquent une rencontre réunissant un petit groupe de chercheurs de Forêts Canada pour établir la façon dont les réunions des groupes de travail sur la tordeuse peuvent servir à présenter les concepts de ces approches aux chercheurs de Forêts Canada et pour s'assurer de la participation de chercheurs intéressés à élaborer un plan de recherche plus concret.

Ces deux approches proposées exigeront la collaboration de Forêts Canada avec les provinces et l'industrie. L'élaboration d'un système d'aide à la prise de décisions en matière de répression de la tordeuse devrait se dérouler à titre expérimental avec un organisme utilisateur ou plus. Il doit partir de l'état actuel de la planification de l'aménagement forestier dans une région donnée, sa mise en application variant d'une région à l'autre. De plus, les travaux portant sur l'élaboration d'un système d'aide à la prise de décisions en matière de répression de la tordeuse devraient être étroitement corrélés aux efforts déployés par l'IFNP pour mettre au point des systèmes d'aide à la prise de décisions sur l'aménagement forestier.

Chapitre 7. Questions et recommandations d'ordre général

Plusieurs grandes questions ou préoccupations se sont dessinées pendant nos entretiens avec les chercheurs; elles n'étaient pas particulières à une discipline mais concernaient diverses disciplines et établissements. Il en est question ci-dessous.

A. Dotation en personnel et réorientation des activités de recherche

On apporte souvent des changements majeurs à l'orientation de la recherche lorsque le personnel en place prend sa retraite et que de nouveaux employés sont embauchés, période qui, en fait, constitue la meilleure occasion de réorienter la recherche. L'embauche était autrefois laissée à la discrétion des divers établissements de recherche et se déroulait souvent rapidement, sans que les chercheurs aient leur mot à dire. La dotation en personnel de recherche devrait être davantage coordonnée entre les établissements et devrait tenir davantage compte de l'ensemble des priorités de recherche de Forêts Canada (**Recommandation 14**). Les groupes de travail pourraient être un bon moyen d'obtenir la contribution des chercheurs à l'établissement de l'ordre de priorité de la recherche et de la dotation en personnel. Pour que le programme de recherche de Forêts Canada soit vraiment coordonné, il faut accorder une plus grande attention aux priorités de l'ensemble du programme lorsque des postes deviennent vacants.

Lors de tout exercice de planification de la recherche, on suppose que le tir de la recherche peut être modifié ou réorienté. Les chercheurs reconnus s'y adaptent plus ou moins facilement, mais, au mieux, les modifications devraient être de petite envergure. Nul doute qu'il vaut mieux que les chercheurs décident volontairement, et avec enthousisme, d'apporter certaines modifications à l'orientation de leurs recherches plutôt que d'être forcés de faire quelque chose dont ils ne voient pas la nécessité. Il devrait être avantageux que les chercheurs participent à des groupes de travail actifs et adoptent dans le cadre de leurs propres études les objectifs communs fixés par le groupe et que les travaux entre les différents établissement soient coordonnés. Nous sommes également persuadés que la répartition des ressources entre les différentes études peut être un stimulant puissant à la réorientation de la recherche.

Nous sommes conscients que les priorités régionales de recherche changent avec le temps et qu'il faut apporter des modifications à l'orientation de la recherche. Les gestionnaires de la recherche doivent toutefois prendre en compte la période à laquelle de tels changements seront apportés, en tenant compte de la date d'achèvement des études en cours. En règle générale, et lorsque les priorités régionales le permettent, il faudrait encourager les chercheurs de Forêts Canada à compléter leurs études et à publier les résultats des recherches dans lesquels ils (et Forêts Canada) ont énormément investi avant qu'ils ne passent à d'autres sujets.

De plus, il est essentiel que la direction de Forêts Canada, si elle accepte des objectifs particuliers pour le programme de recherche, mette en place des mécanismes destinés (1) à s'assurer que les différents chercheurs acceptent ces objectifs pour leurs propres études, (2) à faciliter les travaux conjoints en vue d'atteindre ces objectifs et (3) à permettre d'évaluer dans quelle mesure ces objectifs sont atteints. Nous sommes d'avis qu'un groupe de travail serait un mécanisme approprié. Dans le cas du groupe d'étude de Forêts Canada de 1979, il semble que l'équipe de mise en œuvre (gestionnaires de la recherche) ait adopté des objectifs et mis en place une structure par activité pour examiner la recherche et préparer les rapports annuels mais que, dans bon nombre de cas, ces objectifs ne se sont pas retrouvés dans les propositions de recherche des différents chercheurs. Il est vraiment surprenant de voir combien de chercheurs sur la tordeuse de Forêts Canada ne connaissent même pas l'existence du rapport du Groupe d'étude sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette de Forêts Canada de 1979 ni savent qu'il contient des objectifs qui étaient censés guider la recherche sur ce ravageur.

B. Groupes de travail et amélioration de la communication entre les chercheurs

Les thèmes revenant le plus souvent lors de nos entretiens avec les chercheurs étaient le manque de communication entre les chercheurs sur la tordeuse des différents établissements, de diverses disciplines et, quelques fois, à l'intérieur d'un même établissement. Le Groupe d'étude de l'écologie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette de Forêts Canada était la seule exception, les chercheurs de chacune des régions de l'Est de Forêts Canada tenant une réunion annuelle pour améliorer la collaboration et discuter de méthodologie et de résultats. L'un des principaux avantages du programme CANUSA était de permettre aux chercheurs de se rencontrer périodiquement pour discuter de méthodologie, de progrès, etc. Il est essentiel que des mécanismes soient mis en place pour améliorer la communication et la coordination entre les chercheurs d'une même discipline mais appartenant à des établissements différents et entre les chercheurs de disciplines différentes (par exemple biologie des populations, impact, lutte). Il est plus difficile de favoriser la communication interdisciplinaire.

Nous recommandons la création de groupes de travail non officiels constitués de chercheurs de Forêts Canada se penchant sur des sujets similaires, en vue d'améliorer la communication entre les chercheurs et d'aider à favoriser les projets conjoints de recherche (**Recommandation 15**). Ces groupes devraient être composés de chercheurs compétents provenant de l'ensemble des établissements de Forêts Canada. Ils devraient également servir de forum pour discuter des priorités de recherche et de méthodologie, pour coordonner les travaux en vue de l'atteinte d'objectifs particuliers et pour identifier les besoins et les priorités de recherche. Le Groupe d'étude de l'écologie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette est un groupe de travail de ce genre; nous avons tout particulièrement recommandé la création de groupes de travail spécialisés similaires pour l'impact et la lutte à l'aide de phéromones (**Recommandations 4 et 8**) et la création d'un groupe de chercheurs sur la lutte contre la tordeuse pourrait également être justifiée. Nous voyons ces groupes de travail comme des groupes non officiels composés de chercheurs de Forêts Canada œuvrant dans une discipline donnée qui se rencontrent annuellement pour améliorer la communication et coordonner les recherches. Nous avons également recommandé la création d'un groupe de travail à objectifs destiné à effectuer la mise au point d'un système d'aide à la prise de décisions en matière de répression de la tordeuse et à l'élaboration d'un programme expérimental de répression des ravageurs (**Recommandation 13**). Le nombre et l'identité des membres des groupes de travail à objectifs seront variables; ces groupes seront créés et abolis au besoin. Ce mécanisme offrirait à de petits groupes temporaires de chercheurs un excellent moyen de collaborer pour atteindre des objectifs particuliers dans un domaine donné, par exemple l'amélioration de la méthodologie d'échantillonnage des épinettes ou les prévisions de la défoliation des larves hivernantes L_2. Nous ne croyons pas que ces groupes de travail devraient avoir à présenter un rapport annuel au CORE ou à l'administration centrale de Forêts Canada, bien qu'il faille laisser aux groupes la possibilité de formuler au besoin des recommandations au CORE. Une fois les études conjointes mises en branle, tout comme dans le cas des groupes de travail à objectifs, il faudra toutefois que des rapports réguliers soient présentés au CORE pour le tenir au courant des progrès réalisés vers l'atteinte des objectifs identifiés.

Avant la création du programme CANUSA, les chercheurs s'intéressant à la tordeuse se rencontraient une fois par année pour présenter et discuter de leurs résultats de recherche qui étaient placés dans une chemise rouge, d'où le titre «réunions des chemises rouges». Pendant la durée du programme CANUSA, ces réunions ont été remplacées par des ateliers et des symposiums et la publication d'un «bulletin d'information» trimestriel. Depuis la fin du programme, aucune réunion annuelle officielle sur la tordeuse ne s'est tenue au Canada et aucun bulletin d'information n'a été publié. Cette lacune nous amène à nous demander si les réunions annuelles et les bulletins d'information sont utiles et, dans l'affirmative, quelle forme ils devraient revêtir. Nous croyons que des réunions générales périodiques pourraient être utiles, pourvu qu'elles soient organisées adéquatement. Des réunions annuelles sont probablement trop fréquentes et nous suggérons la tenue de réunions bisannuelles permettant simultanément aux groupes de travail de se rencontrer, un volet

disciplinaire et un autre multidisciplinaire faisant partie du programme de la rencontre. Nous suggérons qu'elles se tiennent conjointement avec la conférence sur les travaux de recherche relatifs à la tordeuse, une rencontre annuelle qui a débuté au Maine à la fin des années 70, plutôt que de créer une nouvelle structure.

Pour déterminer s'il était souhaitable qu'un bulletin d'information soit publié, nous avons interrogé des chercheurs de Forêts Canada et des États-Unis pour découvrir qu'ils étaient également partagés sur ce sujet. Nous en avons déduit qu'il vaudrait la peine de tenter de publier une forme quelconque de bulletin d'information pourvu que quelqu'un consente à s'en charger. Cette tâche devrait logiquement revenir à un coordonnateur des activités d'entomologie de l'administration centrale de Forêts Canada, mais tant que ce poste ne sera pas comblé, nous suggérons le compromis suivant. L'établissement ayant organisé la rencontre devrait préparer un bref compte rendu de la conférence sur les travaux de recherche relatifs à la tordeuse, compte rendu comprenant des résumés des articles présentés et des points d'intérêt comme les cartes de la défoliation de l'année en cours et des rapports sur des questions d'actualité.

Une autre question reste toujours, soit le sort de la bibliographie de la tordeuse. Durant le programme CANUSA, le Service des forêts des États-Unis avait compilé une bibliographie qu'il avait mise sur ordinateur. À la fin du programme, il était entendu que le Canada prendrait la relève, chose qui ne s'est pas produite. Une fois de plus, il s'avère logique que ce rôle revienne à un coordonnateur de l'administration centrale de Forêts Canada. Nous recommandons donc que l'administration centrale de Forêts Canada se procure la bibliographie de la tordeuse auprès du Service des forêts des États-Unis, s'assure que tous puissent y avoir accès et fournisse les ressources nécessaires à sa mise à jour (**Recommandation 16**).

C. Valeur des bourses de recherches postdoctorales, de la collaboration avec les universités

Lors de la plupart des rencontres entre le Comité d'examen et les chercheurs, plusieurs de ces derniers ont spontanément affirmé être préoccupés par les contraintes budgétaires actuelles imposées par le gouvernement qui limitent les possibilités des établissements de Forêts Canada de recruter des détenteurs de bourses de recherches postdoctorales ainsi que d'obtenir des contrats de recherche avec des universités canadiennes, comme le permettait le programme de recherche universitaire en foresterie. Nous avons également trouvé qu'un nombre insuffisant de bourses d'études incitant les étudiants de troisième cycle à travailler avec les nombreux chercheurs de Forêts Canada affiliés à une institution d'enseignement supérieur constituait également un problème. Les bourses de recherches postdoctorales et les projets conjoints avec les universités sont des mécanismes précieux pour obtenir le concours d'experts dans des domaines particuliers et pour répondre à des besoins spécifiques à court terme. En matière de recherche sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette, des travaux utiles ont été accomplis à Forêts Canada grâce à des bourses de recherches postdoctorales par Strongman (Forêts Canada–Maritimes), Prévost (CFL) et Gringorten (IRRF), et cela malgré les possibilités limitées de Forêts Canada. Nous recommandons donc que Forêts Canada se penche sur le problème de l'insuffisance de fonds pour les bourses de recherches postdoctorales, les bourses d'études supérieures et les contrats de recherches universitaires (**Recommandation 17**). Forêts Canada ne pourra conserver sa forte influence sur la recherche sylvicole s'il ne peut recruter des experts pour des programmes spéciaux ou leur attribuer des contrats.

Liste des recommandations

Dans le présent rapport, nous avons formulé un total de 17 recommandations au sujet d'une grande variété de problèmes ou de préoccupations, de priorités, d'orientations futures de la recherche,

etc. Au fil du rapport, les recommandations ont été numérotées les unes à la suite des autres et c'est pourquoi les recommandations 1 à 3 portaient sur la biologie des populations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette, les recommandations 4 à 6 sur l'impact de la tordeuse sur la forêt, les recommandations 7 à 12 sur la lutte contre la tordeuse et les recommandations 13 à 17 sur des questions d'ordre général. Vous trouverez ci-dessous l'ensemble des recommandations par ordre numérique.

Recommandation 1. Que le rôle du RIMA dans les relevés de la tordeuse des bourgeons de l'épinette soit clairement défini dans chaque région. La participation du RIMA à la recherche méthodologique est encouragée dans des domaines comme la méthodologie de l'échantillonnage des épinettes et les prévisions de la défoliation des larves hivernantes L_2.

Recommandation 2. Que le Comité des établissements de recherche se penche sur deux questions en matière de télédétection, soit la nécessité que les entomologistes participent à la mise au point de techniques de télédétection pour l'évaluation des dommages et le degré de participation de Forêts Canada au projet de mise au point du scanneur proposé électro-optique multibande en foresterie. Nous recommandons que Forêts Canada donne son appui à la production et à l'expérimentation d'une série de filtres pour le scanneur électro-optique multibande.

Recommandation 3. Que les ressources allouées à la recherche sur la dynamique des populations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette au sein de Forêts Canada restent à leur niveau actuel pendant la période de faible densité de ce ravageur.

Recommandation 4. Q'un groupe de travail sur l'impact (évaluation des dégâts) soit créé au sein de Forêts Canada et regroupe des chercheurs de chaque région.

Recommandation 5. Que le rôle précis que joue Forêts Canada dans chaque région dans la détermination de l'épuisement de la ressource causé par les insectes et les maladies soit clairement établi.

Recommandation 6. Que le CFT-N alloue le plus rapidement possible des ressources aux études NE-2711 (Raske et Dobesberger) et NE-2714 (Meades) afin que puissent être complétées le plus tôt possible les activités prévues de remesurage et d'analyse des placettes d'échantillonnage existantes.

Recommandation 7. Que Forêts Canada se penche sur la question de la participation du gouvernement à la mise au point ou à la production industrielle de substances insecticides acceptables pour lesquelles la demande est limitée.

Recommandation 8. Qu'un groupe de travail non officiel sur la lutte à l'aide de phéromones soit créé pour coordonner les recherches en laboratoire et sur le terrain à ce sujet.

Recommandation 9. Que Forêts Canada s'emploie activement à trouver des ennemis naturels de la tordeuse des bourgeons de l'épinette à l'étranger, notamment en continuant de verser des fonds à la station sur le terrain Delemont de l'Institut du Commonwealth pour la lutte biologique.

Recommandation 10. Que la recherche sur la lutte biologique contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette à l'aide de virus soit mieux coordonnée au sein de Forêts Canada. Plus particulièrement, l'étude du CFL (Valéro) devrait tirer profit de la compétence existant à l'IRRF pour établir les caractéristiques et la nature de leur nouvelle entité virale avant de procéder à des essais sur le terrain plus poussés.

Recommandation 11. Que Forêts Canada, plutôt que de poursuivre des lâchers de *Trichogramma* sur le terrain et à grande échelle, apporte uniquement une aide à des études cruciales en laboratoire.

Recommandation 12. Que soit défini le rôle de Forêts Canada en matière de recherche sur l'impact environnemental.

Recommandation 13. Que Forêts Canada créé un groupe de travail à objectifs chargé d'élaborer un système d'aide à la prise de décisions relatives à la répression de la tordeuse des bourgeons de l'épinette et un programme de répression expérimentale des ravageurs.

Recommandation 14. Que l'embauche de chercheurs soit mieux coordonnée entre les établissements et qu'une plus grande attention soit accordée aux grandes priorités de recherche de Forêts Canada lors de la dotation en personnel.

Recommandation 15. Que des groupes de travail non officiels de chercheurs de Forêts Canada soient créés en vue d'améliorer la communication, de favoriser les projets de recherche conjoints et d'examiner les priorités de recherche et la méthodologie.

Recommandation 16. Que l'administration centrale de Forêts Canada se procure la bibliographie sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette auprès du Service des forêts des États-Unis, s'assure qu'elle est disponible à tous les utilisateurs et fournisse les fonds nécessaires à sa mise à jour.

Recommandation 17. Que Forêts Canada se penche sur le problème de l'insuffisance des fonds accordés aux bourses de recherches postdoctorales, aux bourses d'études supérieures et aux contrats de recherche universitaire.

Le mot de la fin

En terminant ce rapport, nous aimerions remercier tous les chercheurs de Forêts Canada participant à la recherche sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette qui nous ont rencontrés dans les divers établissements, nous ont fait connaître leurs idées et leurs opinions et nous ont aidés à mener à bien notre tâche. En définitive, ce sont ces chercheurs, et non pas les groupes de travail, les comités d'examen ou les groupes d'étude, qui sont l'élément le plus important du processus de planification et d'exécution de la recherche sur la tordeuse. Nous espérons que nos efforts aideront le programme de recherche sur la tordeuse de Forêts Canada à atteindre son objectif ultime d'acquérir des connaissances et d'élaborer des méthodes de prévision et d'évaluation et des techniques de répression des populations qui permettent aux aménagistes forestiers de mieux faire face aux problèmes de la tordeuse.

Annexe A. Objectifs de recherche identifiés par le Groupe d'étude de la recherche de Forêts Canada sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette de 1979

Le Groupe d'étude de la recherche de Forêts Canada sur la tordeuse des bourgeons de l'épinette de 1979 a identifié 10 objectifs de recherche. Le Comité d'examen estime qu'ils sont toujours valables pour orienter la recherche de Forêts Canada sur la tordeuse. Les 10 objectifs en question sont les suivants:

(1) Élaborer des règles conjuguant l'abondance des populations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette et leur impact sur les arbres-hôtes qui soient compatibles avec les régimes d'aménagement/inventaire provinciaux et qui permettent à l'aménagiste de prédire à chaque année l'importance et l'emplacement de la mortalité des arbres jusqu'à cinq ans à l'avance dans l'unité d'aménagement dont il est responsable.

(2) Déterminer de quelle façon et en combien de temps l'utilisation d'arbres tués par la tordeuse des bourgeons de l'épinette affecte la qualité, la quantité et la valeur des produits sortant de l'usine.

(3) Définir le comportement du feu dans les peuplements ravagés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette de sorte que les responsables provinciaux chargés de la gestion des incendies puissent allouer leurs ressources en conséquence.

(4) Utiliser les données provinciales sur les forêts pour mettre au point des méthodes permettant aux aménagistes de prévoir la production de matière ligneuse, telle qu'influencée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette, jusqu'à 10 ans à l'avance.

(5) Définir les caractéristiques des peuplements (par exemple composition du peuplement, répartition des classes d'âge, espacement des arbres, station et topographie) pertinentes aux interventions d'aménagement forestier (récolte, régénération naturelle et artificielle) qui diminueront les possibilités d'infestation par la tordeuse des bourgeons de l'épinette (moins grande sensibilité), ou lorsqu'elles se produisent, qui réduiront au minimum les dégâts (moins grande vulnérabilité).

(6) Collaborer avec les organismes provinciaux responsables des forêts à l'élaboration de modèles destinés à concevoir et à évaluer les autres stratégies pour faire face aux problèmes occasionnés par la tordeuse des bourgeons de l'épinette dans les forêts.

(7) Élaborer des méthodes pour accroître l'efficacité et réduire les risques d'utilisation des insecticides actuellement homologués.

(8) Évaluer et mettre au point de nouveaux agents de protection du feuillage efficaces l'année même de leur application, dans le cadre des opérations de lutte.

(9) Évaluer et mettre au point, en vue d'opérations de lutte, de nouveaux agents pour manipuler les populations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette qui puissent être utilisés dans le cadre de stratégies autres que la protection du feuillage.

(10) (a) Compiler des données sur les risques associés à l'utilisation d'agents nouveaux ou modifiés, données nécessaires à leur homologation.

(b) En collaboration avec d'autres organismes, établir et perfectionner continuellement des méthodes et des protocoles en vue de l'évaluation de l'impact environnemental des programmes opérationnels de lutte.

(c) En collaboration avec d'autres organismes, déterminer les causes ou l'impact environnemental imprévu des opérations de lutte à mesure qu'elles sont identifiées par les activités régulières de surveillance de l'environnement.